



TITLE:

数量的間伐に関する生態学的研究

AUTHOR(S):

只木, 良也; 四手井, 綱英

CITATION:

只木, 良也 ...[et al]. 数量的間伐に関する生態学的研究. 京都大学農学部
演習林報告 1963, 34: 1-31

ISSUE DATE:

1963-01-31

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191374>

RIGHT:

数量的間伐に関する生態学的研究

只 木 良 也*・四 手 井 綱 英

Yoshiya TADAKI and Tsunahide SHIDEI

The Ecological Studies on the Quantitative Thinning.

内 容

ま え が き.....	1	Ⅳ 今後の間伐に対する考察.....	25
Ⅰ 数量的間伐の意義と必要性.....	2	要 約.....	26
Ⅱ 間伐の植物生態学的基礎.....	4	文 献.....	27
Ⅲ モデル計算による主間伐合計量の推定と検討.....	13	Résumé	30

ま え が き

自然の力に依存した産業に、自然によって許された生産力以上を期待することは無理であるが、その生産力をできる限り目的生産物に集中させるよう努力することは必要なことである。すなわち、林業にあっては、その土地をはじめあらゆる環境のもつ生産力を幹材の生産にできるだけ多く集中せしめねばならない。このためには森林の物質生産の構造や能力を知らなければならない。

森林の生産構造は、BOYSEN JENSEN⁶⁾、BURGER^{8)~16)}、MÖLLER⁴¹⁾⁴³⁾ ら、OVINGTON^{48)~52)} らによって研究され、わが国においても佐藤・扇田^{66)~69)72)73)}、坂口⁶²⁾⁶³⁾、北沢³³⁾、KIMURA²⁶⁾、OSHIMA⁴⁷⁾ らの研究がある。筆者ら⁸⁴⁾⁸⁸⁾¹⁰¹⁾¹⁰²⁾ もいろいろな樹種について解析を行なっている。

立木密度は生産構造の解明に不可欠の因子であり、解析手段として重要な役割をはたすものである。一定面積上に生育する個体数の増加は、それら個体間の競争の激化を意味するが、植物を育成する上に生産の目的に応じて最も能率よく最高生産をあげうる密度を決定することは、農学、林学における基礎的課題のひとつである。

密度と生産に関しては、草本を用いて CLEMENTS¹⁹⁾ らははじめとして数多く研究されて来たが、吉良を中心とする大阪市立大学の研究グループ²⁴⁾³⁰⁾³¹⁾³²⁾³⁴⁾⁷⁷⁾ のすぐれた研究がある。林木に関しては、BRAMBLE⁷⁾ ら、RUDOLF⁵⁸⁾、BAKER³⁾、河田²⁵⁾ らのものがあり、前述の佐藤・扇田⁶⁷⁾⁷²⁾⁷³⁾、坂口⁶²⁾⁶³⁾ の研究も立木密度を解析因子としている。苗畑での木本植物の密度試験も四手井のものをはじめ数多く報告されている。

間伐は個体間の競争を緩和する手段として人為的に立木密度を調節することであるから、間伐問題は生産構造の研究を基礎として立木密度問題から検討されるべきであるが、林学者はあまりにも幹材生産という面のみを重視して、全般的な物質生産に留意することがすくなかったようで、間伐度と主間伐合計収穫量との関係という根本的な問題にさえ、まだ決定的な解明が与えられていない。そののみか間伐を量的に表示しようとする試みもようやく最近になってさかんになってきたようである。

本論文では林分の葉量と、それによって生産される物質質量などについて考察し、間伐と材積生産を、主として立木密度の面から検討した。さらに立木密度と幹材生産に関する一般的法則を応用して、間伐による本数管理経路をいろいろ変えて想定し、モデル計算によってその幹材生産を求めて比較し

* 現在：農林省林業試験場九州支場

た。もとより研究は不充分でさらに検討を加えねばならぬ点は多くあるが、多少なりとも育林上の参考となれば幸である。

本論文作成について、四手井はひろく指導を行ない、只木がとりまとめたものである。また数々の有益な示唆や助言を与えられた京都大学堤利夫助教授、大阪市立大学吉良竜夫教授およびその研究グループ各位、東京大学佐藤大七郎教授、論文作成に御援助をたまわった京都大学農学部造林研究室各位に心から謝意を表する次第である。

I. 数量的間伐の意義と必要性

間伐は林分保育上最も重要な手段の一つで、その起源はドイツにおいては16世紀、わが国においても17世紀にさかのぼる⁶¹⁾といわれており、各種の改革が加えられ、改良されて現在に至ったのであるが、間伐の実行にはまだまだ理論的な解決が与えられていない点も多く、実行者の経験的、主観的要素が占める部分が大きい。

現在、最も一般的な間伐方式は、樹型級区分によるものである。樹型級区分も種々の方式が提案されているが、こうした区分が絶対的な万能区分であることはまずなく、適合度を高めるために区分が細部にわたりすぎると、かえって選木に混乱を来し、迷いを生ずる。また樹型級による間伐では、間伐量は、実行の結果として決まるもので、あらかじめ客観的に決定できない。間伐量や施業の方式は、植物生態学のゆるす範囲内で経営の目的に応じて定むべきで、伐期までの林分の生育経過を考慮して決定されねばならない。この点樹型級区分による間伐は、間伐量や主伐量が経験的には一応定まってくるとしても、その施業の経過が不確定で、間伐の繰返し期間と間伐度合との関係なども明らかでない。

こうしたことが原因して、施業者には豊富な経験が要求され、間伐には高級技術が必要とか、“名人芸”とかいわれるのであろう。間伐のむずかしさは、結局選木のむずかしさに帰するが、このような高級技術が要求されたのは、従来の間伐が単木の取扱いの傾向が強くなり、品質面が重視されて、大径木生産を目標とし、単位面積あたりの材積生産が幾分軽視されていたことにもよるものであろう。

最近の木材生産は質より量の時代に移ったといわれる。したがって、間伐作業は現在一つの転期にあり、林分全体の材積生産が量的に把握されることは、林業の企業体系をたてる上にも必要である。量的な根拠が与えられることによって、経験的に行なわれてきた間伐木選定にも、ある程度の基準が提示され、選木もかなり容易になるであろう。

従来の間伐を定性的と呼ぶならば、上述の量的根拠によるものは定量的ともいうべきである。定量的間伐は一口にいうならば、林分の構成状態や生長条件に応じて保有すべき適当な立木本数や現存量を決め、これにしたがって伐期までの全期間を通じて間伐⁶⁰⁾によって立木密度や現存量を調節しようとするもので、“量的あるいは数的 (quantitative or numerical)”⁶⁰⁾に表示されるものである。こうした量的、数的な表示の基準となるものは、立木密度、胸高直径、樹高、胸高断面積などであって、いろいろな方法が提示されているが、主なものは次の通りである。

A 適正本数によるもの*：麻生は樹種ごとの適正本数を地位、林令ごとに定め、これを基準として間伐することを提唱し、現行の林野庁の収穫表^{54)~57)}はこの考えにもとずいて調整されている。必要な間伐本数が示されているだけに選木はかなり容易になるが、地位林令で本数を決めることは、一応の目安として平均的な意味では有効であっても地位、林令によってそれぞれ生育状態が異なることを考えれば、樹高や直径などの樹体の大きさに応じた適正本数と間伐方法が決められるべきであろう。

B 胸高直径ならびに樹間距離によるもの：古く HAUG (1889) や KOJESNIK (1898) は平均樹間

* A~Dは坂口の類別によった。この中で特に文献番号を付さない間伐法は坂口による。⁶⁰⁾⁶¹⁾

距離を間伐の基準としているが、REINEKE⁵³⁾は充分な立木密度を基準とする立木密度指数 (SDI) を紹介して、平均直径から適正本数を導く可能性を示し、MITCHELL⁴⁰⁾は平均直径 (D) に常数を加えた " $D+x$ " を平均樹間距離とする rule of thumb を考案した。AVERELL²⁾はさらにこの法則を発展させ、MULLOY⁴⁶⁾はこれに SDI を組みあわせて標準樹間距離を示す表を調製した。

牛山は、胸高直径の等しい林木には等しい占有面積を与えてさしつかえないとして、収穫表を用いて胸高直径から適正樹間距離を求めて間伐基準とした。

胸高直径を用いるものは、それによって樹体の大きさが表わされ、林令、地位がほとんど消去されるのは利点であるが、樹間距離を適正化するということは、極端な本数減少の場合を除いて不可能である。たとえば 1.8 m 間隔のものを 2.0 m 間隔には間伐できない。⁶⁰⁾

この他、直径を用いて占有面積の法正度を知るものに CHISMAN¹⁸⁾らや GAISER²³⁾らの tree-area ratio がある。

C 樹高によるもの：KÖHLER (1919) や WILSON⁸⁷⁾は立木本数を樹高の 2 乗の逆数に比例する数式としてあらわし、HART*, BECKING*, ASSMANN¹⁾は類似の考え方で樹冠が正六角形の拡がりとして仮定した場合の平均樹間距離と上層木平均樹高との比を一定に保つよう間伐することを提示した。

HUMMEL (1953) は平均樹高の 20% を標準樹間距離とし、各間伐度を具体的に示し、間伐くり返しは樹高生長 2 m ごとが適当であるとし、HILEY (1954) も、いろいろの収穫表を基にして樹高による間伐指針を示し、間伐くり返しを樹高生長 10 ft ごととしている。

樹高は立木密度に影響されることが少なく、また林令地位をあわせて表現するから、これをもって間伐指針とするのは合理的である。

D 胸高断面積によるもの：MARTIN (1899) は樹木生育占領面積と、胸高断面積の関係から、胸高断面積合計は林分の疎開度を示すに適するとし、STAHELIN⁷⁹⁾は tree-area ratio から 100% 蓄積の胸高断面積合計と、平均胸高直径の関係を求め、これから各種の % の曲線を作って間伐基準とした。SPURR (1952) は全期間を通じて最適の胸高断面積合計を決めておき、過剰となった分を間伐することを提案している。また CHAPMAN¹⁷⁾はある一定の選木基礎によって一貫して行なわれた間伐の系列では結果において一定の胸高断面積となると指摘している。

胸高断面積を用いる方法は樹高を無視しているのは欠点であるが、樹型は樹種によって大体一定のものであるから、あまり問題にするにあたらない。それ以上に樹高や直径を用いるものと違って、単位面積あたりの 2 次の量として示されることは利点である。³⁰⁾

E 数量的間伐の今後の問題：この他 LEXEN³⁰⁾は幹表面積を用いることを示唆し、吉良²⁸⁾は特性曲線、平均管理曲線、競争密度効果線を組合わせて、平均幹材積と立木密度の関係から一つの指針を示した。

このように、林分の幹材生産を計画的にまた数量的に示す方法は、今後ますます進歩することが予測され、アメリカではこうした研究が重視されて Society of American Foresters では専門委員会⁵⁾が設けられている。

林分が保持しうる葉量がほぼ決っている (第 II 章) とすれば、間伐によって立木本数をすくなくしてやることは、個体の大きさに応じた葉量をその個体に与えてやることでもある。林業の目的生産物である幹は、葉による光合成生産物の蓄積であり、その生産器官である樹冠の配列は、多量の、あるいは良質の材を生産する上に重要な意味をもっている。このような意味からも、間伐、とくに数量的に表現される間伐は、広く林分構成状態の理解、立木密度問題の解明、林分の生産構造の研究までを含めて考えられねばならないであろう。

* ASSMANN による。

II. 間伐の植物生態学的基础

1. 林分の葉量

1.1 単位面積あたりの葉量：高等植物の物質生産は葉の光合成によっており、植物体の生長量はその面積上の葉の量と、また現存量は現在までの葉量の総計と密接な関係があることは当然考えられるところである。

光合成に必要な光は、太陽エネルギーに依存していて、地球上のある緯度における年間輻射量はほぼ一定である。また、自然状態で、ある緯度において生育可能な植物種も、温度その他の条件である程度決っているから、ある種の植物の葉緑素の単位面積あたりの量は光の量に規制されてある一定量の極大値をもつと想像され、さらに、葉緑素の主たる保持器官である葉の構造が、種によって一定であるとする⁴¹⁾れば単位面積上の葉の面積や重量は閉鎖が完全ならばほぼ一定値を持つといえる。

MOLLER はヨーロッパのブナとトウヒについて地位や間伐度の違いによって、また林令や樹高に關しても葉量はあまり変らないことを見出した。佐藤⁶⁷⁾も植栽密度の違う13年生のアカマツ林で、葉の生重量が立木密度にかかわらずに12~13ton/haであることを認めている。また筆者⁸⁴⁾らも立木本数9,000~25,000本/haのシラカンバ幼令林で葉乾重1.2ton/ha、葉面積3.5ha/haであることを知った。第1表はいろいろな地方で測定されたいろいろな樹種の葉量を示したものである。近縁種はそれぞれよく似た値を示し、日本とヨーロッパの差もあまり認められない。落葉性の樹種にあっては乾重で2~3ton/haのものが多く、また常緑樹の年間落葉量は2~3ton/haのものが多く*、単位面積あたり葉量が一定ならば、落葉量と新葉量は等しいはずであるから、2~3ton/haは落葉・常緑に共通の年間新葉生産量といえるようである。この値を一応“基本葉量”と仮称すると、常緑樹にあっては基本葉量にそれぞれの葉の着生年数(葉の寿命)を乗じたものが、現存葉量になっているように思われる。しかし落葉性樹種の中でも傾向的には、一般に耐陰性の強いといわれる樹種ほど葉量は多いようである。

単位土地面積あたりの葉量は、巨視的にみれば一定といえるようであるが、もうすこし詳細にその時期的な変化をみるとかなりの巾があるようである。特に落葉樹にあっては毎年閉鎖・落葉をくり返しているわけで、年間の変化を知ること意味が大きい。筆者⁸³⁾らがアキニレの稚樹群で測定したところによると、春季開葉後50日で葉量は極大となり、その後60日間に下層から落葉して葉量は半減してほぼ一定となった。その葉面積は極大期14m²/m²、一定となって7m²/m²であった。

林令と葉量の関係についても、葉量極大の時期が閉鎖直後に存在するようである。すなわち、閉鎖前の幼令期に林分の葉量は急激に増加し、閉鎖直後には過剰葉量を保有するが、そのうち葉量は減少して安定した一定葉量に至るもののようである。シラベ・オオシラビソ⁴⁷⁾林では30年で極大値12ton/ha(乾重)が、*Pinus sylvestris*⁴⁹⁾林では20年で10.5ton/ha(乾重)が測定され、またアカマツ³⁸⁾林で15年生12.5ton/ha(生重)が推定されているが、当該地方の収穫表における連年生長最大が20年生であることは注目すべきで、葉量と生長量との間に密接な関連性のあることが推測される。

1.2 葉量と土地条件：前述のように、葉量は時期的に変化するが、葉量が一定に安定している期間⁴⁴⁾は葉量の変化している期間よりずっと永いので、巨視的には単位土地面積あたり樹種によって一定葉量をもつといえよう。

MONSI⁴⁴⁾らは葉量が多すぎると、補償点以下の光しかうけない下層の葉は呼吸消耗が多くなり、与えられた強さの光に対して物質生産が最大となるような最適の葉量があることを指摘した。葉の量が多くなれば、下層の補償点以下の葉は生存できなくなり、葉量の最大が決るのであろう。このように、葉量が光の量によって規制されているとすると、水分や無機物質などの土地的生長要因が、より

* 堤による：本誌 p. 47

第1表 haあたりの林の葉量
Table 1. Leaf amount in stand per hectare.

樹 種	Species	生 重 量 Fresh wt. t/ha	乾 重 量 Dry wt. t/ha	面 積 Area ha/ha	測 定 者 Investigated by
<i>Fagus sylvatica</i>			3.3		EBERMEYER*
〃			2.5	5.5	MOLLER ⁴¹⁾
〃			3.1	5.4	BOYSEN-JENSEN*
〃		7.9	3.2	6.2-7.9	BURGER ¹¹⁾ 15)
<i>Fagus crenata</i> (ブナ)			2.81		大政他 ⁴⁶⁾
<i>Quercus robur</i>			1.7-2.0	2.6-3.1	MOLLER ⁴¹⁾
〃		14.3	5.3		BURGER ¹⁴⁾
<i>Quercus serrata</i> (コナラ)			2.33		大政他 ⁴⁶⁾
<i>Quercus mongolica</i>					
<i>Q. grosseserrata</i> (ミズナラ)			0.93		大政他 ⁴⁶⁾
〃		7.3	2.5	4.4	***
<i>Quercus acutissima</i> (クヌギ)			1.9-4.5		大政他 ⁴⁶⁾
<i>Fraxinus excelsior</i>			2.7	5.4	BOYSEN-JENSEN ⁶⁾
<i>Fraxinus mandshurica</i> (ヤチダモ)		9.9	2.2	4.3	***101)
<i>Betula</i> sp.			1.3		MORK**
〃			1.5		NORDFORS**
〃			1.6		KUNDSEN <i>et al.</i> **
〃		4.9			HARTIG*
<i>Betula verrucosa</i>			2.5	6.5	OVINGTON <i>et al.</i> ⁵¹⁾
<i>Betula ermanii</i> (ダケカンバ)		10.6	2.4	5.2	***102)
<i>Betula platyphylla</i> (シラカンバ)		4.0	1.2	3.5	***84)
<i>Sapium sebiferum</i> (ナンキンハゼ)			1.1-2.2	2.1-6.9	大阪市大植物生態研 ²⁹⁾
<i>Populus davidiana</i> (チョウセンヤマナラシ)		5	2	2.2	佐藤他 ⁶⁸⁾
<i>Populus sieboldii</i> (ヤマナラシ)			1.3		大政他 ⁴⁶⁾
<i>Zelkova serrata</i> (ケヤキ)		7	3	4	佐藤他 ⁶⁸⁾
〃			1.2-1.8		大政他 ⁴⁶⁾
<i>Ulmus parvifolia</i> (アキニレ)		11.0	3.0	7.1	***83)
<i>Alnus sieboldiana</i> (オオバヤシヤブシ)		7.5	4.3	5.9	***
<i>Alnus hirsuta</i> (ケヤマハンノキ)		9.0	2.6	4.6	***
〃 <i>v. sibirica</i> (ヤマハンノキ)			2-4	3-5	***
<i>Salix gracilistyla</i> (ネコヤナギ)		10.7	3.5		***
<i>Salix vulpina</i> (キツネヤナギ)		5.6	2.3		***
<i>Ligustrum tschonoskii</i> (オクイボタ)		10.2	2.5		***
<i>Spiraea salicifolia</i> (ホザキシモツケ)		4.3	0.7	3.9	***
<i>Robinia pseudo-acacia</i> (ニセアカシア)			2.5-4.0	5-7	***
<i>Machilus thunbergii</i> (タブ)					
<i>Shiia sieboldii</i> (スダジイ)			10.1-13.1	7.4-9.6	北沢他 ³³⁾
<i>Distylium racemosum</i> (イスノキ)			11.4	8.8	北沢他 ³³⁾
<i>Larix decidua</i>		5-7	1.2-2.6	5-7	BURGER ¹³⁾
〃			2		MOLLER ⁴¹⁾
<i>Larix leptolepis</i> (カラマツ)			3.3		芝本 ⁷⁴⁾
〃			2.03		大政他 ⁴⁶⁾
<i>Pinus sylvestris</i>		12-13	5	6.6-7.3	BURGER ¹²⁾
〃			4.9		AMILON**
〃			5		TIREN**
〃			5.1-10.5	5.3-10.8	OVINGTON ⁴⁹⁾

樹 種	Species	生 重 量 Fresh wt. t/ha	乾 重 量 Dry wt. t/ha	面 積 Area ha/ha	測 定 者 Investigated by
<i>Pinus densiflora</i> (アカマツ)		12-13			佐藤他 ⁶⁷⁾
〃		12			丸山他 ⁶⁸⁾
<i>Pinus strobus</i>		19			扇田他 ⁷³⁾
〃		16-20		14-17	BURGER ⁸⁾
<i>Pinus banksiana</i>			4.9	3	HANSEN*
〃			6		ADAMS*
<i>Picea excelsa</i>			12	13.1	MOLLER ⁴¹⁾
〃		33-34	15-20	17-28	BURGER ¹²⁾
<i>Picea glehnii</i> (アカエゾマツ)		35	7.35		*** ⁶⁸⁾
<i>Pseudotsuga douglasii</i>		27-44		18.4-27.1	BURGER ⁹⁾
<i>Abies alba</i>		29		17	BURGER ¹⁶⁾
<i>Abies sachalinensis</i> (トドマツ)		55	19.1		*** ⁶⁸⁾
<i>Abies mariesii</i> (オオシラビソ)			8.6-12.1		OSHIMA <i>et al.</i> ⁴⁷⁾
<i>-veitchii</i> (シラベ)					
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)		23-24	9.5-10		佐藤他 ⁶⁹⁾
〃				11.04	藤井 ²¹⁾
〃		25			***
<i>Cryptomeria japonica</i> (スギ)		44-46	17-18		***

*: 佐藤⁶⁵⁾による。 reference from SATO⁶⁵⁾

** : MOLLER⁴¹⁾による。 reference from MOLLER⁴¹⁾

*** : 筆者および筆者を含む研究グループ。

The authors or studing grou pes including the authors.

以上に与えられても、その林分の生長が与えられた量と比例的に大きくなるとは普通程度の条件の林分では考えられない。すなわち、土地的条件は林分が閉鎖しうる程度に充分ならば、閉鎖することによって林分の生長は光の量で決まる葉量で規制されて、それ以上に与えられた土地の条件に匹敵するだけの生長は期待できないのである。勿論、光以外の生長要因によって光合成能率が著しく良化されるとか、葉量が著しく増加してその光合成能率も現在と同等もしくはそれ以上になるとかいうことになれば森林の生産力は大きく飛躍することになる。実験的には、例えば施肥・耕耘によって葉量が増すことは二三認められているが、一般には林業が営なまれている程度の土地の条件のところならば実験で行なわれるほど土地条件の極端によいことは稀であるから、土地条件が林分が閉鎖しうる程度に充分であれば、それ以上は葉量に規制され、葉量が特に密接に生長に関係するといってもよからう。

とすると、地力、たとえば水分や養分がある程度の中て増加しても、葉量やその光合成率が増加しない限り、林分はその水分、養分を利用することができないのである。もし光が現在以上に強くなるとか、長時間照射されるというふうに光の条件が変り、それにもなって林分の葉量の光合成能が変われば、それに応じて水分、養分が活用されるようになるであろう。しかし、光条件が現在以上に良くなることは普通には考えられない。

逆に、光は充分あっても、土地の条件が極端に劣るようなところでは土地条件が制限因子となる。たとえば水分が著しく不足しているようなところでは生長は水分に規制され光が充分活用されない。すなわち森林は充分な葉量を保有できない、つまり閉鎖できないのである。砂漠やステップなどはこの例で、もはや一般林業地としては成立しえない。

こうして考えると従来の“地位”の概念は、閉鎖以後の林分ではあまり意味をもたなくなり、地位の差が大きくあらわれるのは造林から閉鎖までの期間といえるのである。

2. 森林の物質生産

上述のように林分が閉鎖していれば種によって単位面積あたりの葉量が一定であるとする、その

種の光合成能率はほぼ決っているから、単位面積あたりの単位時間内の同化生産物量は同一樹種でいたい一定になるはずである。

林業の最終目的たる幹材は、こうした同化生産物の蓄積である。勿論、同化生産物全体が幹に蓄積されるわけではなく、枝・根・葉・種子などの生産にも利用され、また呼吸その他に消費される分もある。BOYSEN JENSEN はこうした関係を次の式であらわした。

$$\begin{aligned} & \text{〔葉の純光合成量〕} - \text{〔落葉 + 落枝 + 枯根 + 幹・枝・根の呼吸による消費〕} \\ & = \text{〔幹・枝・根の生長量〕} + \text{子実} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

葉の純光合成量とは、葉の光合成量から葉の呼吸量を引いたものであり、各項は乾重量で示される。佐藤⁶⁵⁾は、育林的に幹の生長量を重視し、タネの量を無視して次のように書きあらためた。

$$\text{幹材生産量} = \text{同化生産物量} - \text{〔呼吸量 + 葉・枝・根の生産量〕} \dots\dots\dots(2)$$

葉は生産の器官であるとともに、それが落ちるということは、林分としての損失でもある。林分の葉量が一定とすれば、年々生産される分だけが落葉の量でもあり、前述のようにこの量は、樹種による差はあまりなく、落葉樹、常緑樹を通じてほぼ 2~3 ton/ha (乾重) といえるようである。枝や根の枯れ落ちる量については、ほとんどデータはなく、まだ推定の域を出ない。

呼吸による消費は、林分の消費の中で大きな部分を占めるが、林分で実測することはほとんど不可能である。枝幹の呼吸は、その表面積の函数で示されるといわれており、一般に、同一材積ならば細い木ほど表面積は大きいから、同一蓄積を有する林分でも小径木の多い方が呼吸量は多いといえよう。間伐によっては細い木ほど伐採される率が多いから、間伐は林分の呼吸量をすくなくするのに役立っているといえよう。BOYSEN JENSEN は若いトネリコ林で、その呼吸消費が無間伐林で 3.7 ton/ha・year、間伐林で 2.8 ton/ha・year と推定した。MØLLER⁴¹⁾ らによると、ヨーロッパブナ林 25 年生で 3.5 ton、46 年生で 4.5 ton、85 年生で 4.6 ton (いずれも年間 ha あたり) の呼吸量があり、また枝幹の呼吸による乾物消費量の乾物量に対する割合は、ヨーロッパのブナ、トネリコ、トウヒについて、樹高が高くなるほど減少するといわれている。

2.1 森林の乾物生産量：以上のような消費量と同化作用による総生産量との差が蓄積されて現存量となるのであるが、総生産量は、その消費量を推定や仮定によって求める部分が多いので信頼すべき値を得ることは困難であるが、BOYSEN JENSEN はトネリコ林で 9 ton/ha・year、MØLLER⁴³⁾ らはブナ林で最盛期 23.5 ton/ha・year を得ている。また最盛期のトドマツ林で 35~40 ton/ha・year、さらに照葉樹林で 73~75 ton/ha・year と計算されている。

純生産量については OVERTON⁴⁸⁾ によって、針葉樹類が落葉広葉樹類の 2 倍の生産力を持つことが示された。OVERTON のデータに、若干の測定値を加えて第 2 表とする。概括的にみて、森林の純生産量は針葉樹林で 5~20 ton/ha・year、落葉広葉樹林で 3~9 ton/ha・year といえるようである。

エネルギー効率は、前述のトドマツ林で純生産に対して 1.2% と計算され、OVERTON⁵⁰⁾ はいろいろな樹種を含めて純生産に対して 1% 程度としている。照葉樹林での純生産に対する効率は 2.5% と計算され、一般に閉鎖した陸上の高等植物群落の総生産に対する効率は 2~3% の範囲にあると推定されている。

2.2 生産物の幹への配分：生産された物質が、林業の目的生産物である幹に、どのように配分されているかを知ることは現実の問題として重要である。OVERTON⁴⁹⁾ は *Pinus sylvestris* について全植物体の中で幹の占める比率が林令とともに大きくなることを見出し、筆者らもトドマツ、アカエゾマツで、直径が大きくなるほど全地上部重中での幹の占める比率が大きくなることを知った。また佐藤⁶⁷⁾ らのアカマツ林では立木密度が高いほど全地上部中での幹の割合は大きくなり、逆に枝の割合が小さくなった。

林令が大きい、または大径木であることは育林的取扱いよりは時間あるいは個々の樹の性質・条件

第2表 森林の純生産量
Table 2. Net production of forests.

樹 種 Species	純 生 産 量 Net production (ton/ha · year)	出 典 Reference
<i>Picea abies</i>	11.2-7.5*	48)
<i>Picea omorika</i>	14.3*	48)
<i>Picea glehnii</i> (アカエゾマツ)	6.7	88)
<i>Abies sachaliensis</i> (トドマツ)	20.0	88)
<i>Abies mariesii</i> (オオシラビソ) <i>-veitchii</i> (シラベ)	8.26	47)
<i>Abies grandis</i>	18.4-9.3*	48)
<i>Pseudotsuga taxifolia</i>	9.8-7.2*	48)
<i>Tsuga heterophylla</i>	12.9*	48)
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	10.6*	48)
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)	8.4-6.5	74)
<i>Thuja plicata</i>	3.1*	48)
<i>Cryptomeria japonica</i> (スギ)	12.7-6.5	74)
<i>Pinus sylvestris</i>	12.0-7.9*	48) 49)
<i>Pinus nigra</i>	10.3-5.9*	48)
<i>Pinus densiflora</i> (アカマツ)	20. *	81)
<i>Larix decidua</i>	6.0*	48)
<i>Larix eurolepis</i>	9.6*	48)
<i>Larix leptolepis</i> (カラマツ)	4.7-4.4*	48)
〃 (〃)	8.1	74)
<i>Distylium racemosum</i> (イス)	20.	26)
<i>Fagus sylvatica</i>	5.0*	48)
〃	9.6	43)
<i>Nothofagus obliqua</i>	4.3*	48)
<i>Quercus robur</i>	3.9*	48)
<i>Quercus rubra</i>	2.1*	48)
<i>Quercus petraea</i>	2.0*	48)
<i>Quercus sp.</i>	3.2*	48)
<i>Castanea sativa</i>	3.7*	48)
<i>Alnus incana</i>	6.3-5.1*	48)
<i>Betula alba</i>	2.9-2.7*	48)
<i>Betula verrucosa</i>	7.9*	51)
<i>Betula platyphylla</i> (シラカンバ)	5.0*	84)

*: 根を除く exclusive of roots.

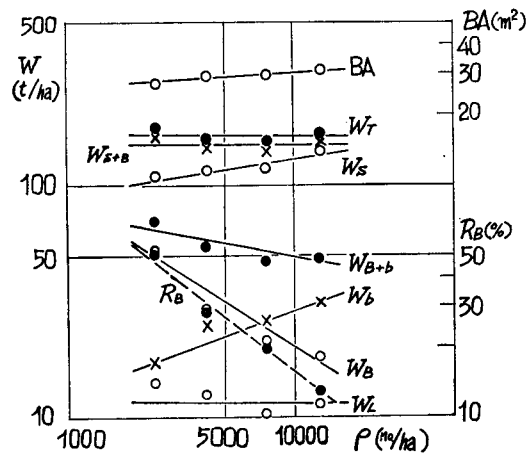
などが支配し、またこのような状態では一般に葉の同化能率が下り同化生産は不利である。したがって幼時で、小径木の時から、同化生産物を幹に集中せしめるには、その配分の率を人為的にコントロールしてやる必要があるが、佐藤らの例のように立木密度を高くすることによって枝への同化生産物の配分が減じ、幹にその分が集まるという事実は林業的にみて非常に有利な現象であり、幹材生産の能率を向上せしめ得る可能性を示している。

3. 間伐度合と材積生産

3.1 小型林分における間伐試験：筆者らは間伐の度合と幹材生産を、短期間、小面積で知るため、苗畑で苗木を用いた小型の林分で、模型的な間伐の試験を行なった。

スギ苗を用いて、⁸⁰⁾下層をくり返し伐るもの、上層をくり返し伐るもの、早期に50%を伐るもの、枝打ち、無間伐の5処理で3年間試験した結果、下層間伐と無間伐で主間伐合計幹重が最多、下層間伐と50%間伐で単木平均幹重は大となった。⁸¹⁾またアカマツ苗を用いた試験では、本数にして50%を1回、2回、4回に分けて伐るものと無間伐の4処理で4年間の試験の結果、主間伐合計量は弱間伐をくり返す方が大きくなる傾向がみられたが処理間に大きな差はなかった。

以上から次のように推定できた。主伐時の幹収獲は高立木密度であるほど大きいですが、最大の主間伐合計量を得るためには、完全に閉鎖した状態で、当然枯死に至ると思われる生長のたちおくれた個体のみをくり返して間伐して行くのが有利である。強度の間伐や、大個体を除くような間伐を行なうと、閉鎖が大きく破れ、単位面積あたりの生長は減退する。しかし、閉鎖が回復すると無間伐ないし弱間伐のものと同等の生長を示すようになり、間伐後充分時間がたてば、閉鎖が破られていた間の生長低下量は現存量にくらべて相対的に小さくなるから、主間伐合計量の差はほとんど認められなくなる。



第1図 13年生アカマツ林の Y-D 効果 (佐藤ら⁶⁷⁾のデータより画く)

Fig. 1. Yield-Density effect in artificially planted stands of 13-years-old *Pinus densiflora* (after Saroo *et al.*⁶⁷⁾)

W : ha あたり各器官生重量 fresh weight of an organ per ha

ρ : ha あたり立木本数 number of trees per ha

W_T : 全地上部生重量 fresh weight of total tops

W_S : 幹生重量 fresh weight of stems

W_R : 枝生重量 fresh weight of branches

W_{S+R} : 幹および枝生重量 fresh weight of stems and branches

W_L : 葉生重量 fresh weight of leaves

W_b : 現在までの枯枝重量 (推定) weight of dead branches (estimated)

W_{R+b} : 枝および推定枯枝合計重量 total weight of present and estimated lost branches

R_R : 枝条率 ratio of branches to stems

BA : 胸高断面積 total basal area

W_T , W_{S+R} and W_L are almost constant having no relation with stand density (the law of final yield constant²⁴⁾). W_S tends to increase and, contrariwise, W_R tends to decrease with higher stand density.

3.2 立木密度と材積生産: 佐藤らのアカマツ疎密試験について、収量密度効果⁹²⁾³⁰⁾を示すと第1図のようになる。全地上部重は立木密度にかかわらず一定となり、収量一定の法則が成立っていることがわかる。この時の C—D 指数⁸²⁾³⁰⁾は1.05となっている。葉や、幹枝合計も密度にかかわらず一定であるが、幹収量は密度が高いほど、枝収量は密度が低いほど大きい。前述のように単位面積あたりの葉量が密度と無関係に一定ならばその同化生産物は密度にかかわらずほぼ一定になるはずで、その生産物

が低密度では枝に配分される割合が多くなるのである。枝条率は密度の低い方で甚だ高く、現在までの枯枝推定量は密度の高い方が多くて高密度ほど枝の枯れ上りが甚しいことを示しているが、枯枝と現在の枝との合計、すなわち枝の現在までの純生産量は低密度の方が多い。

このように密度によって同化生産物の配分が異なるとすると、幹を生産目的とする林業にあっては、同化生産物を幹に集中させるため、なるべく高立木密度にして枝をすくなくするのが有利である。しかし高密度であれば生産される材は細長なものになるから、伐期に必要な単木材積を生産できる範囲の最高密度になるように、利用材積を考慮して施業しなければならない。

筆者らの⁸⁴⁾シラカンバ幼令林や、⁷⁸⁾扇田らのストロブマツ間伐実行林では、地上部収量一定にはなっていなかったが、幹、枝の現存量の傾向については上述のアカマツ林と同様であった。

BAKER³⁾は、普通程度の密度では生長はたいして影響されることがないと *Ponderosa pine* 林で認め、⁵⁸⁾RUDOLF は *Jack pine* で密度によって平均樹高には差がなく、平均直径は低密度ほど大きく樹形は高密度ほど細長くなるとし、⁷⁾BRAMBLE らは *Red pine* で平均直径と材積生長率は疎植区で、幹材積合計は密植区で大きくなるが、密植区では間伐材積が利用できる太さになるのがおそくなることを指摘している。また坂口ら^{62,63)}もアカマツ天然林で密度が高いほど幹材現存量が多いことを認めている。いずれも立木密度が高いほど幹材現存量は多く、収量密度効果の発現に他ならないようである。また地上部について収量一定の法則が成立つ状態になっても幹材については収量一定にならず、常に密度が高いほど同化産物の幹への配分が多くなるようである。しかし、第1図の例では地上部が収量一定のときの幹についての C—D 指数は 0.86 であったから高密度によって幹材が極端に増収になるとは期待できない。C—D 指数 0.86 ならば、密度が 10 倍になっても約 1.4 倍の幹材増加となるにすぎない。

間伐は人為的な立木密度の引き下げであるから、間伐は弱度であるほど立木密度は高く幹材生産は有利であるといえよう。しかし、間伐によって除かれるものは林分中で比較的非生産的な個体であるのが普通であり、また間伐によって一時的に閉鎖が破れて林分の生長量が低下しても、閉鎖が回復すれば林分生長量も回復し、間伐後充分時間を経れば間伐度合の差はあまり問題にならなくなるようである。例えば Möller⁴²⁾らは広葉樹林で胸高断面積が最大胸高断面積の 60~50% 以下にならない範囲では、連年生長量は間伐度合によって変らないとしている。

間伐度合と生長に関する多くの報告で、強間伐は直径生長を促進するとしている。面積あたり材積生長については MILLER³⁹⁾は *Virginia pine* で、WAHLENBERG⁸⁶⁾は *Yellow poplar* で、また MANN³⁷⁾は *Loblolly pine* で無間伐ないしは弱間伐ほど大きいことを認め、KRAUCH³⁵⁾は *Ponderosa pine* で胸高断面積合計は間伐度合で変らないとしており、また GAINES²²⁾は、*Long leaf pine* で、SCHANTZ-HANSEN⁷¹⁾も *Red pine* で林分の生長が最大になる間伐度もしくは立木密度には Optimum があるとしているが、概していえば弱間伐、高密度で生長が大になる傾向がある。

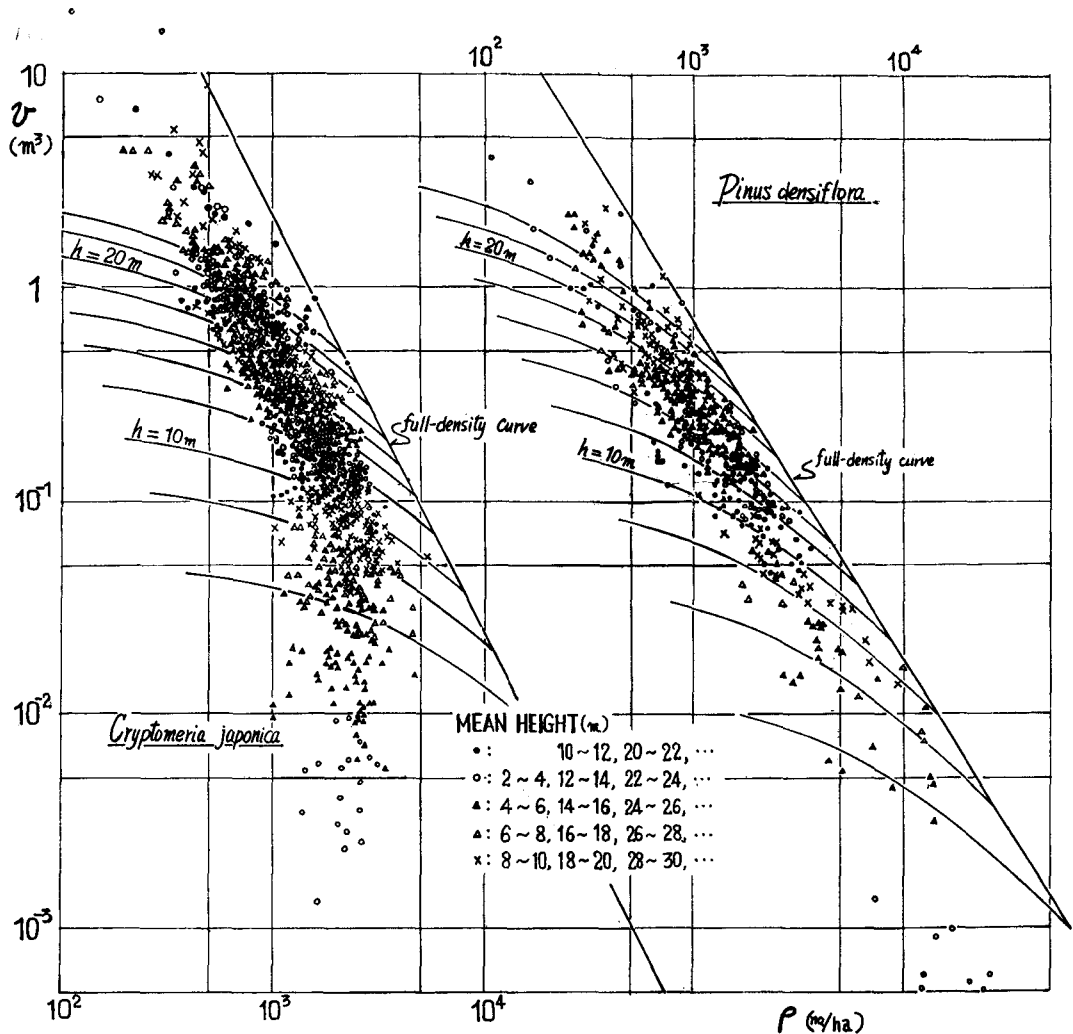
間伐度合と主間伐合計幹材量については FOILES の *Western white pine* 間伐試験では、枯死を含めた幹材生産は無間伐林で最大であったが、枯死を除いた現実の主間伐合計は間伐度合によって大きな差はなく、無間伐ないしは弱間伐でわずかに大であった。また BENSON⁴⁾や SPURR⁷⁸⁾らの *Eastern white pine* 間伐試験でもその主間伐合計幹材量は無間伐林も間伐林もほとんど差はない。

こうした結果からみて、佐藤や坂口がすでに述べているように、普通程度の間伐が行なわれる場合には主間伐合計量にはあまり差がないといえる。ただし、極端に強度な間伐が行なわれる場合は、閉鎖回復がおくれることや閉鎖の破られている間の林分の生長速度などの点からみて、主間伐合計量は当然低下するであろう。

3.3 幹材積に関する 3/2 乗則(特性曲線)：上述のように、幹材生産は立木密度が高いほど有利であるが、立木密度は無限に高く保持できるものではない。ある一定の密度に対し、その林分が保持しう

る最大の現存量があり、林分が現存量を増してその限界に近づけば、自然に枯死が起って立木密度が調節される。このような最大密度とその時の平均個体重の関係は³⁸⁾ $\frac{3}{2}$ 乗則と呼ばれるが、類似の関係は、平均幹材積と立木密度に関しても成立するようである。これは幹が樹木体全体の中で占める割合が大きいためであろう。

この関係は無間伐林における自然間引経過から、また概略の線は現実林分調査の最高密度の林分を結んで得られる。いまスギ、アカマツについて平均単木材積(v)と立木密度(ρ)の $\frac{3}{2}$ 乗則線を示すと第2図のようになる。一般に v と ρ との最外側線、すなわち v に関する $\frac{3}{2}$ 乗則線は



第2図 スギとアカマツの立木密度(ρ)と平均幹材積(v)の関係における $\frac{3}{2}$ 乗則線と等平均樹高線

Fig. 2. The full-density curves and equivalent-height curves on the relation between stand density (ρ) and mean stem volume (v) in *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora*.

Diagrams were drawn up using the preparation data of yield tables.⁵⁴⁾⁵⁶⁾

The specific constants k and a of the full-density curve on each species are showed in Table 3.

The equivalent-height curves are applied the reciprocal equation⁷⁷⁾, i. e.

$$v = 1/(A\rho + B)$$

where A and B are constants determined by mean height in place of growth stages.—ref. Table 6.

* 標準地調査データを用いた。

$$v = k\rho^{-a} \quad \dots\dots\dots(3)$$

で示され、 k 、 a は樹種によって固有の常数となる。この常数をいろいろな樹種について示すと第3表となる。 a の値は1.5~2.0の間にあるが、一般に陰性の樹種ほど大きい。すなわち図の線の傾斜は急になるようである。陽性の代表樹種であるカンバ属やカラマツでは $a=1.5$ であり、これより a の小さいものはあらわれない。 k についても陰性の樹種ほど大きいようである。

第3表 立木密度(ρ , ha)と平均幹材積(v , m³)の関係における3/2乗則式 $v=k\rho^{-a}$ の常数
Table 3. Constants in the full-density (natural thinning) equations on the relation
between stand density (ρ , ha) and mean stem volume (v , m³) $v=k\rho^{-a}$

樹 種	Species	k	a	原 デ ー タ Original data
<i>Cryptomeria japonica</i> (スギ)		1.527×10^6	1.94	54)
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)		1.517×10^5	1.74	55)
<i>Abies</i> sp. and <i>Picea</i> spp. (トドマツ・エゾマツ アカエゾマツ)		1.484×10^4	1.67	88)
<i>Pinus densiflora</i> (アカマツ)		4.232×10^4	1.59	56) 67)
<i>Pinus strobus</i>		4.686×10^4	1.66	78)
<i>Pinus monticola</i>		2.489×10^4	1.55	20)
<i>Larix leptolepis</i> (カラマツ)		1.046×10^4	1.50	57)
<i>Fraxinus mandshurica</i> (ヤチダモ)		5.495×10^4	1.64	101)
<i>Betula</i> spp. (シラカンバ・ダケカンバ・ウダイカンバ)		1.144×10^4	1.50	84) 102)

暫定的な線であって、この論文作製後に修正の要ありと認められたものもある。

These curves are tentatively settled, some of which are recognized to be amended.

REINEKE⁵³⁾は10樹種について任意の平均直径(D)に対する最大本数(ρ)を

$$\log \rho = -1.605 \log D + K' \quad \dots\dots\dots(4)$$

の式であらわした。 v と D が対数直線関係にあると仮定すると(4)式の関係は(3)式に書きあらためられる。

$$\text{坂口は スギ} \quad \log \rho = -1.6307 \log D + 5.5010 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{ヒノキ} \quad \log \rho = -1.3563 \log D + 5.1365 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{アカマツ} \quad \log \rho = -1.6383 \log D + 5.3330 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{カラマツ} \quad \log \rho = -1.7273 \log D + 5.3773 \quad \dots\dots\dots(8)$$

という式を、またMACKINNEY⁵⁴⁾は *Loblolly pine* で

$$\log \rho = -1.707 \log D + 4.1588 \quad \dots\dots\dots(9)$$

を得ている。

このように幹材積に対する充分な密度(full-density)⁵⁵⁾を決定する樹種によって固有な曲線^{**}、すなわち特性曲線は、ある任意の平均幹材積の林分の保有しうる最高密度を示し、これより高い密度は自然間引によって劣者が脱落していくので存在しないのである。植物群が生長して立木密度にかかわらず単位面積あたり葉量一定の状態になれば、密度が高いほど1本あたりの平均葉量はすくなくなるわけであるが、ついにはそのすくない葉量での光合成量では、呼吸消費を賄いきれずに、生長を停止し、ついには樹体を維持できなくなり枯死に至ることになる。したがって、もし林分を構成する各個体の大きさが均一であれば、full-densityに達すると、全個体一様に生長が衰え、ついには樹体を維持し得

* STAHELIN⁷⁹⁾による。

** 幹材積に関する3/2乗則線、自然間引線、自己間引線、特性曲線、full-density curve などと呼ばれているが、本論文については“特性曲線”を用いる。

なくなり、何かの機会に一度に枯れる——共倒れ現象が起るであろう。しかし、林木においてはこうした例は稀であり、一般には林分内の各個体の大きさは次第に不揃いとなり、劣勢な個体ほど葉量の保持量もすくないから、full-density になれば劣勢な個体から順次枯れて行くのである。

一般人工林では full-density よりかなり低い密度で施業され、林分の生長にともなう間伐によって密度を引き下げている。第2図は、日本各地のいろいろな立地の、いろいろな取扱いをされてきた林分が混合して示されているが、点のもっとも密集しているあたりを通して特性曲線と平行な曲線が得られる。これは平均管理曲線と呼ばれ、平均的な本数管理を示すものと考えられる。

またこの図には、四手井の行なったように平均樹高2mごとに点をうちかえた。立木密度によって影響されることのすくない平均樹高を用いて地位、林令を含めた生育段階を示すものとしたので、平均樹高線は各生育段階における競争密度効果³²⁾³⁰⁾を示しているものと解釈できる。図の等平均樹高線は競争密度効果の逆数式をもって表わした。当然、同一平均樹高でも、立木密度によって平均材積はかわり、高密度ほど平均材積は小さい。

III. モデル計算による主間伐合計量の推定と検討

第2図の特性曲線と、競争密度効果線とみなした等平均樹高線を組み合わせることによって、あらゆる密度を含めた林分の生長経過を模式的に示すことができ、さらにある立地条件で、ある平均樹高に

第4表 記 号 一 覧
Table 4. The notations

植 栽 本 数	(本/ha)	
Initial planting density	(no./ha)	ρ_0
現 存 本 数	(本/ha)	
Present stand density	(no./ha)	ρ
相 対 密 度*	(%)	
Relative stand density*	(%)	ρ_r
管 理 曲 線**	(%)	
Management line**	(%)	ML
毎 回 間 伐 率	(%)	
Thinning-ratio in each thinning time	(%)	P_t
間 伐 開 始 時 樹 高	(m)	
Mean height at the first thinning	(m)	h_f
間 伐 間 隔***	(—m 樹高生長ごと)	
Interval of thinning***	(every —m height growth)	I
平 均 樹 高	(m)	
Mean height	(m)	h
平 均 幹 材 積	(m ³)	
Mean stem volume	(m ³)	v
間 伐 幹 材 積 合 計	(m ³ /ha)	
Total stem volume yield in thinnings	(m ³ /ha)	V_t
幹 材 積 現 存 量	(m ³ /ha)	
Standing crop of stem volume	(m ³ /ha)	V

*: 任意の立木密度の、同一等平均樹高線上の3/2乗則線上の密度に対する本数比率

*: percentage of actual stand density to full-density on the same equivalent-height curve

** : 常にある一定の相対密度をもつ線、これに沿って本数管理が行なわれる。

** : which is designed to keep a certain relative density and along which stand densities are controlled.

*** : ある一定樹高生長ごと

*** : every certain meter height growth.

至る年数を知ることによって、等平均樹高線は林令をあらわす線として有効である。したがって、いくつかの条件を仮定することによって林分の生長経過を図上で任意に決定して、その材積生産を計算によって求めることもある程度可能であろう。

そこで、本数管理経路を種々想定し、図上で密度調節を行なって、モデル計算によって材積収穫を比較してみた。例としてスギを用いた。

1. 計算に必要な設計と仮定

モデル計算を行なうために、特性曲線や等平均樹高線が基準となるが、その他次のような設計や仮定が必要である。

第5表 間伐モデルスケジュール——第4表の記号参照

Table 5. Schedules of thinning models—see the notations of Table 4.

A-シリーズ：このシリーズでは現存本数の如何にかかわらず、常にその何割かを間伐するもので、その組み合わせは下のごとくなる。

A-series: In this series, P_t was fixed in each model regardless of ρ . 168 kinds of thinning models were designed combining several factors showed bellow.

ρ_0 (no./ha)	P_t (%)	hf (m)	I (m)
2000	0 (un-thinned)	8	2
	10		4
5000	20	12	6 ($hf=12$)
	30		8 ($hf=8, 16$)
10000	40	16	12 ($hf=12$)
	50		16 ($hf=8$)

B-シリーズ：このシリーズでは、管理線を決め、それに沿わせて下のごとき組み合わせで間伐する。

B-series: In this series, thinning models were designed to practice along ML . 223 kinds of thinning models were planned combining several factors as follows.

ρ_0 (no./ha)	ML (%)	hf (m)	I (m)
2000	100 (un-thinned)	8	2
	100		4
5000	80	12	6 ($hf=12$)
	60		8 ($hf=8, 16$)
10000	40	16	12 ($hf=12$)
	30		16 ($hf=8$)
	20		
	10		

C-シリーズ：管理線に沿わせて間伐を行なうのはBシリーズと同じ。植栽本数を間伐開始時に丁度管理線と合致するように決めてある。すなわち植栽本数は管理線と間伐開始時樹高の2因子から自動的に決定される。組み合わせは下の通り。

C-series: In this series, ρ_0 was designed to determined as the density of expected ML on equivalent-height curve of hf . Other factors were designed similarly as B-series. 67 kinds of thinning models were planned combining several factors as follows.

ML (%)	hf (m)	I (m)
100 (un-thinned)	8	2
100		4
80	12	6 ($hf=12$)
60		8 ($hf=8, 16$)
40	16	12 ($hf=12$)
20		16 ($hf=8$)
10		

Assumption :—

- 1) Thinning is designed to practice at intervals of a certain meter height growth in stead of years, i.e. to practice every 2m-, 4m-, 8m-height growth etc..
- 2) Trees to be thinned are selected in order of small individual, the mean height is not changed and the relation between ρ and v is translocated only on the same equivalent-height curve by thinning.
- 3) Trees die only on the full-density curve.
- 4) The final cutting is fixed at the time of 24m mean height.

① 植栽本数(ρ_0), 間伐開始時の平均樹高(hf), 間伐間隔(I), 間伐本数率(P_t), 管理曲線(ML)などを組合わせた間伐スケジュールは第5表に示したとおりであるが, I は樹高生長をもってこれに代え, 樹高生長2mゴト, とか4mゴトというように間伐が行なわれることとした。

② 間伐木は幹材積の小なるものより順次所定本数だけ選ばれるものとし, 間伐前後を通じて平均樹高(h)は不変で, 平均幹材積(v)と立木密度(ρ)との関係は同一平均樹高線上の変化であるとする。——小個体から順に間伐されると間伐後 h は大きくなるはずであるが, ここでは h は林令の代用として一つの目安として用いているので, この点はあまり問題とせず無視した。また, HART-BECKING-ASSMANN¹⁾のいう“Over-höhe”(林分中に $10 \times 10m^2$ の標準地を多くとり, それぞれの中の最高木の樹高を平均する)の概念を入れて考えると, 小個体の間伐によって h が大きくなっても, 主林冠高は変化しないから樹高を目安としても誤りではあるまい。また, 小個体から順に除いて同一等平均樹高線(競争密度効果線)上を動くという仮定は, 小個体から順に除いた場合の残存個体の $v \sim \rho$ の関係は競争密度効果の逆数式にのることが, すでに経験的にも実証され, 理論的にも植物群落の個体重の出現頻度が漸次L型分布になること³⁴⁾から証明可能なようである*。

③ 本数減少はスケジュールにしたがった間伐によるものと, 特性曲線上の枯死のみとする。——枯死は特性曲線上においてのみ, すなわち full-density の時のみに起るものではなく, full-density⁸⁰⁾に至る過程でも特性曲線に漸近線的に近づく型で枯損は生ずる。勿論枯損量は無視できないが, ここでは間伐モデル設計を簡単にするために枯死は特性曲線上でのみ起るものとした。

④ 主伐期は $h=24m$ のときと決めた。これに合致するように hf , I は決めてある。たとえば $hf=8m$, I は4m 樹高生長ゴトならば, h の8, 12, 16, 20m と4回間伐されて24m のとき主伐ということになる。したがって $hf=8m$ で, $I=6, 12m$ 生長ゴト, あるいは $hf=12m$ で $I=8, 16m$ 生長ゴトなどの組合わせは, $h=24m$ で主伐に合致しないので除かれている。

モデル計算は例としてスギを用いたのでその特性曲線式は第3表に示したとおり,

$$v = 1.527 \times 10^6 \rho^{-1.94} \dots\dots\dots (1)$$

であらわされる。次に等平均樹高線は競争密度効果逆数式をあてはめたので

$$1/v = A\rho + B \dots\dots\dots (2)$$

第6表 等平均樹高線に関する $\rho \sim v$ 逆数式の係数(第2図)
Table 6. Constants A and B in the reciprocal equations⁷⁷⁾
used as the equivalent-height curves representing
the relations between ρ and v (Fig. 2) $1/v = A\rho + B$

平均樹高 mean height (m)	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>		アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	
	A	B	A	B
4			0.01413	75.510
6	0.00561	19.190	849	22.961
8	388	8.085	602	9.602
10	273	4.573	444	4.875
12	217	2.562	360	2.805
14	177	1.638	295	1.705
16	143	1.169	256	1.124
18	123	0.835	220	0.723
20	106	613	192	517
22	94	450	173	368
24	82	362	158	262
26	73	290	144	195
28	66	228	132	138
30	60	188	122	98

* 篠崎・穂積ら(未発表), 私信による。

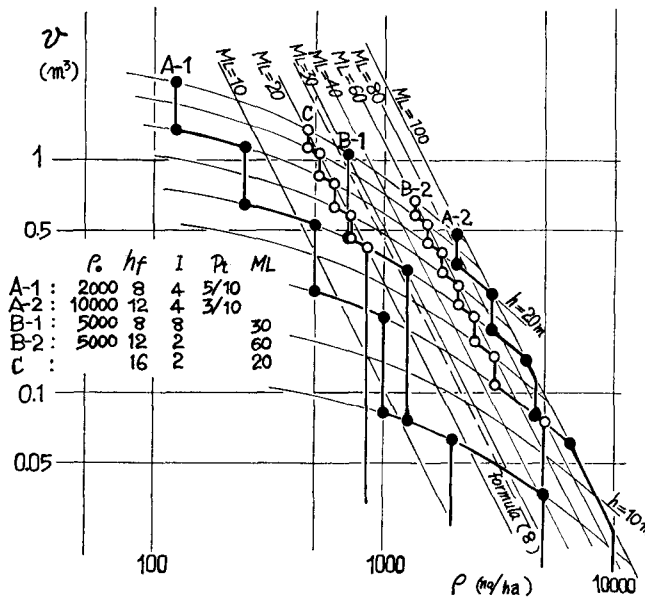
となる。単位面積あたり幹材積 (V) は

$$V = v\rho \quad \dots\dots\dots(3)$$

で示されるから V は次式で計算される。

$$V = \rho / (A\rho + B) \quad \dots\dots\dots(4)$$

A , B は生育段階, すなわちここでは h によって決る常数であるが, 等平均樹高線と特性曲線との交点の, あるいは一定立木密度の時の v を図上から暫定的に求め, それぞれの時の v と h との関係を対数函数として修正し, 各等平均樹高線の $A \cdot B$ を第6表のように決定した。こうして特性曲線, 等平均樹高線を組合わせて第3図のような $\rho \sim v$ 関係の模式図ができあがり, 第5表に示したスケジュールにしたがった間伐経路が設定された。



第3図 ρ , v , h , ML の関係を示す模式図と間伐モデルの経路の例——第4表の記号参照。

Fig. 3. The diagram concerning ρ , v , h and ML , and some examples of management courses in thinning models.—see the notations of Table 4.

2. 主間伐合計量のモデル計算

2.1 Aシリーズ: このシリーズでは, 各モデルで毎回の本数間伐率 (P_t) が一定である。たとえば $P_t = 5/10$ ならば間伐ごとに本数を半減せしめるもので $\rho_0 = 10000$ ならば第1回間伐で5000本に, 第2回で2500本になるわけである。

まず P_t , hf , I , ρ_0 の組合わせによって $h = 24m$ までのスケジュールによって各間伐時の ρ は機械的に決定される。次にそれぞれの間伐時の ρ に対する林分材積は逆数式で計算されるが, いま任意の平均樹高 hx の逆数式線上で間伐が行なわれ, 立木本数が $\rho_{x1} \rightarrow \rho_{x2}$ になったとし, hx に対する逆数式の係数が A_x , B_x とすると, 間伐前後の林分の幹材積 (V_{x1} , V_{x2}) は

$$V_{x1} = \rho_{x1} / (A_x \rho_{x1} + B_x) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$V_{x2} = \rho_{x2} / (A_x \rho_{x2} + B_x) \quad \dots\dots\dots(6)$$

となり, したがって間伐材積 (V_{tx}) は

$$V_{tx} = V_{x1} - V_{x2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

となる。以上のような計算を各モデルの各間伐時点で行ない, $h = 24m$ での現存幹材量とそれまでの

間伐量を合計して主間伐合計量とした。

2.2 Bシリーズ：このシリーズでは、管理曲線 (ML) を決めて間伐が行なわれるもので、 hf , I , ρ_0 はAシリーズと同じである。

ML は各等平均樹高線上で、特性曲線と常にある一定の本数割合を保つ線であり、特性曲線上の本数に対する百分比で示した。たとえば60%の ML とは、それぞれの等平均樹高線における、その等平均樹高線の特性曲線上の立木本数の60%の点を結んだもので、両対数軸上で特性曲線とはほぼ平行に示される。ここで用いている ML の百分比表示は、等平均樹高線上の本数比率であって、同一平均幹材積に対する本数比ではない。

計算方法はAシリーズの場合と同様であるが、各時期の間伐後の本数は、次回の間伐時に丁度所定の ML に達するように決められている。

2.3 Cシリーズ： ML , hf , I はBシリーズと同様の設計であるが、 ρ_0 を第1回間伐時に丁度所定の ML と合致するように決めた。したがって、それぞれ hf の等平均樹高線と ML の交点の ρ が ρ_0 となるわけである。

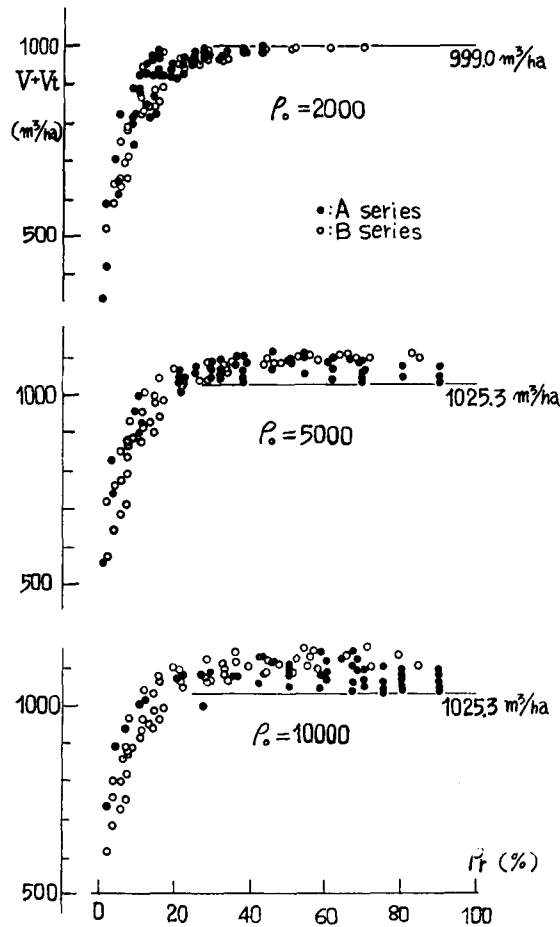
以上のようにして、無間伐を含めてAシリーズ168通り、Bシリーズ223通り、Cシリーズ67通りの間伐モデルが設計され、それぞれの主間伐合計幹材積が計算によって求められた。若干の間伐モデルの例を第3図に示した。

3. その結果

3.1 Aシリーズ：このシリーズでは、ある一つのモデルについて常に P_t が一定である。

主間伐合計量や間伐量の検討については、立木密度という面から検討するのが主目的であるから、相対密度 (仮称 ρ_r) という因子を検討の手段として用いることにした。相対密度とは、ある等平均樹高線上の任意の密度と、同一等平均樹高線と特性曲線との交点における密度との比率(%), つまりある林分の密度をその林分と同一平均樹高をもつ十分な密度 (full-density) の林分の密度との比率で示したものである。たとえば $ML=40\%$ の上にある点の ρ_r はいつも40%, また、特性曲線上の ρ の ρ_r は100%で示されることになる。したがって ρ_r は特性曲線への近づき方をあわすことになる。

いま各スケジュールの間伐開始後の最少の ρ_r を横軸に、 $h=24\text{m}$ の主間伐合計量 ($V+V_t$) を縦軸にとって ρ_0 ごとに P_t , hf , I を無視してプロットすると第4図のごとく、 ρ_0 が小さい間、すなわち特性曲線からの離れ方が甚しい間は、 ρ_r が小さいほど $V+V_t$ は小で、 ρ_r の増加とともに $V+V_t$ も急激に増加していることがわかる。しかし ρ_r がある程度大きくなると $V+V_t$ はあまり増加せず横這いとなることが、 $\rho_0=5000$, 10000 で認められた。このような ρ_r の下限は一応25%程度とおさえた。 $\rho_0=2000$ では、他の2つの場合とは異なって $V+V_t$ が上限の線でおさえられている型である。この線は $\rho_0=2000$ で $h=24\text{m}$ まで無間伐でおいた V の値、 $999.0\text{m}^3/\text{ha}$ である。 $\rho_0=2000$ では $h=24\text{m}$ に至るまでに特性曲線に到達しなかったため、全く枯損による損失がないモデルが、他の間伐を行なったモデルの $V+V_t$ よりも多い生産をあげているのである。これに対し、 $\rho_0=5000$, 10000 では無間伐のモデルは特性曲線に至って漸次枯損を生じており、 $h=24\text{m}$ では $V=1025.3\text{m}^3/\text{ha}$ となっている。枯損による損失はあっても特性曲線上を動いているのであるから、まだ特性曲線に至らない $\rho_0=2000$ の無間伐モデルよりは V は多いのは競争密度効果からいって当然である。しかし $\rho_0=5000$, 10000 のスケジュールでは、間伐によって枯損による損失をすくなくしているため、その量だけ間伐モデルは無間伐モデルより有利になっている。またスケジュールの中で P_t の弱度のものや、 I の長いものでは、一度間伐されても次期の間伐までに特性曲線に到達することが多く、また hf が大きいものや、 ρ_0 の大きいものでは第1回の間伐が行なわれるまでに特性曲線に至っていることもある。こうした間伐経過のものでも、間伐することによって自然間引による枯損量の幾分かを収穫として計上できるので、無間伐モデルよりは主間伐合計において有利になるはずである。したがっ



第4図 A, Bシリーズの相対密度 (ρ_r) と主間伐合計量 ($V+V_t$)——第4表の記号参照。

Fig. 4. The relations between relative density (ρ_r) and total stem yield ($V+V_t$) in A- and B-series.— see the notations of Table 4.

$V+V_t$ was increased with higher ρ_r very remarkably when ρ_r was under 25 percent. When ρ_r was over 25 percent, $V+V_t$ seemed to be not particularly different by ρ_r . In the case of $\rho_0=2000$, non-thinning model could not reach to full-density at the time of final cutting ($h=24m$) and was upper limit of $V+V_t$. On the contrary, in the case of $\rho_0=5000$ or 10000 , non-thinning models were on the full-density curve at the time of final cutting and were lower limit of $V+V_t$.

て無間伐の $h=24m$ における V は第4図の横這いの部分, すなわち $\rho_r > 25\%$ の部分の下限になっている。その分布の上限は明らかではないが, 下限の線より約 $100m^3$ ほどの間に分布しており, その分布の巾はこの付近の $V+V_t$ の値のはば1割程度である。ゆえに $\rho_r > 25\%$ の範囲では, $V+V_t$ は ρ_r とはあまり関係なく, ほぼよく似た値を示すといってもよからう。

主伐量, すなわち $h=24m$ における幹材積合計量 (V) は $h=24m$ という同一競争密度効果式上の比較であるから ρ が大きいほど V は大きいはずである。この時には無間伐で特性曲線に沿った値 $V=1025.3m^3/ha$ が最大値となる。 ρ が大きいということは, ρ_0 が大きいまたは間伐による本数減少がすくないモデルということになり, hf , I は大なる方が, P_t は小なる方が, また ρ_0 は大なる方が $h=24m$ のときの ρ が大きい。すなわち V も大きいといえよう。しかし ρ_r が100%に近づくほど V が ρ の影響をうける度合は小となる。

次に間伐量合計 (V_t) は, 一般的な傾向として hf , I が小なるほど, P_t が大きいほど V_t は大

くなる。しかし強度の間伐をくり返して行なうモデルでは ha あたりの現存量自体が減少してくるので、かえって V_t は減少している。 ρ_0 については、 P_t が同一ならば ρ_0 が小なる方が V_t は多くなる傾向にある。これは本数よりも単木の大きさが影響しているようである。しかし $I=2m$ で $P_t=5/10$ のような強間伐がくり返されるモデル群では V_t は ρ_0 が大きい方が多くなる。これもやはりこのような強間伐モデルでは現存量自体が甚しく小になる結果、間伐量も低下するのであろう。

以上のような V , V_t の hf , I , P_t , ρ_0 との関係が組合わされて、前述のような $V+V_t$ の傾向となる。このAシリーズに関しては、 $\rho_t > 25\%$ の範囲、すなわち、同一平均樹高の林分が示す最大の立木密度（特性曲線上）の $\frac{1}{4}$ 以下の立木密度にならない限り、間伐の強度や管理経路にかかわらずほぼ一定の主間伐合計が期待できるといってもよからう。ただしそのためには、無間伐で放置しておいて主伐時に特性曲線に到達しうるだけの植栽本数が必要である。

3.2 Bシリーズ：このシリーズでは管理曲線 ML が決められ、特性曲線と平行に本数管理されている。Aシリーズにおいて行なったと同様に、 ρ_r と $V+V_t$ との関係をプロットすると第4図に併記したようになり、Aシリーズにおいてみられたと同様の傾向が得られた。 $\rho_0=2000$ で $999.0m^3/ha$ が上限になっているのもAシリーズで検討したものと同様であるが、 $\rho_0=5000$, 10000 では、Aシリーズで $1025.3m^3/ha$ を下限として横這いとなっていた部分が、 ρ_r の増大とともにわずかに増加する傾向を示している。これは、特性曲線にと平行な管理曲線に沿っているため、間伐を開始したのちには、自然間引による損失が全くなく、その損失すべき分が収穫として繰込まれているためである。ただし、 $\rho_0=5000$ で $hf=16m$, $\rho_0=10000$ で $hf=12, 16m$ のモデルでは、間伐開始時には特性曲線上にあった。しかしながら ρ_r が小さい範囲での ρ_r 増大にともなう $V+V_t$ の急激な増加にくらべて、 ρ_r が大きい範囲での $V+V_t$ の増加はわずかであり、ほとんど差がないといえる程度である。このような $V+V_t$ の増加傾向が変化する点の ρ_r は $20\sim 25\%$ あたりにおさえられるようである。

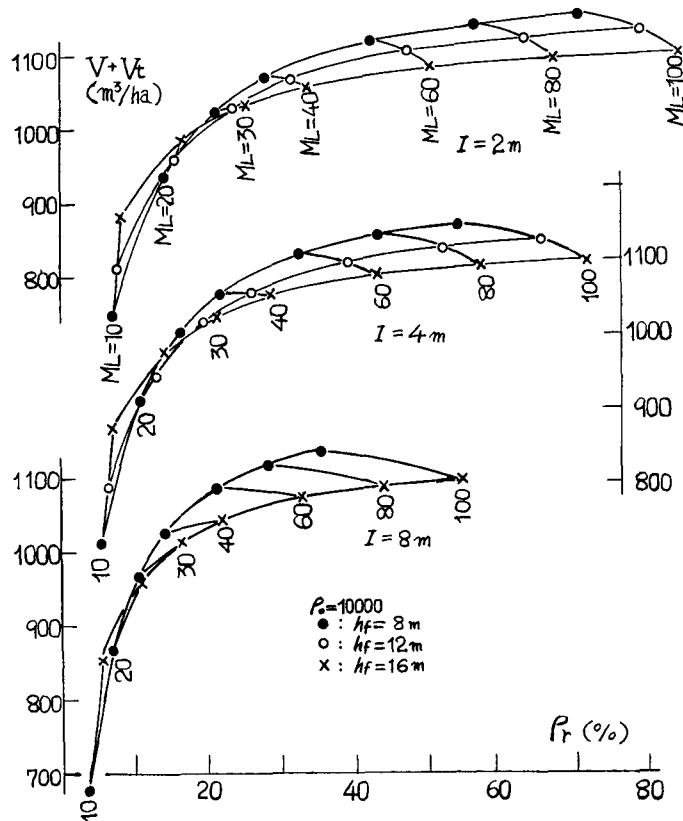
さて hf , ML が一定の場合の ρ_0 , I と $V+V_t$ の関係をみると、同一の ρ_0 では I が小なるほど、すなわち間伐のくり返しが多いほど ρ_r は大きく、 $V+V_t$ は大となり、そしてその傾向は ML の小なる方で甚しい。また同一の I ならば ρ_0 が大きいほど、 $V+V_t$ は大となる。

つぎに ρ_0 , I が一定の場合の hf , ML と $V+V_t$ の関係については、例として $\rho_0=10000$, $I=2.4.8m$ の場合を第5図に示した。同一の hf では ML が大きいほど、すなわち特性曲線に近い管理が行なわれるほど ρ_r は大きく、また $V+V_t$ は大きくなり、その傾向は ML の小さい方で著しい。次に同一の ML については ML の小さいとき、すなわち特性曲線よりずっと離れて低い立木密度で管理が行なわれるときは hf が大きい方が、 ML の大きいときは hf の小さい方が $V+V_t$ は大となる。このような傾向の逆転する ML は、大体 $ML=30\sim 40\%$ 付近といえるようである。間伐によって一時的に ρ_r は下げられるから、 $ML=30\%$ の場合どのモデルも $\rho_r=25\%$ 以下、 $ML=40\%$ のモデルでも $\rho_r=30\%$ 以下になるものがほとんどであるから第4図にみられたような ρ_r の増大にともなう $V+V_t$ の急激な増加がみられなくなるような $\rho_r=20\sim 25\%$ と合致している。

以上からBシリーズについて次のようにいえることができる。植栽本数が多いほど、間伐のくり返しが多いほど、また管理曲線は特性曲線に近づくほど主間伐合計量は多くなる。そしてその間伐の開始は、ある限度より疎開した管理を行なうときはおそいほど、その限度より密な状態で管理する場合は早いほど主間伐合計量は多くなる傾向がある。しかしながら以上のような傾向は、管理が特性曲線に近づいて行なわれるほど顕著ではなくなるようである。

主伐時の幹材積は、Aシリーズの場合と同様、各モデルの $h=24m$ のときの ρ によって決まり、 ρ が大きいほど多くなる。

間伐量合計 (V_t) については、 hf , ML を一定とすると、同一の ρ_0 については I が小なるほど V_t は大きく、同一の I では ρ_0 が大きいほど V_t は多くなる。次に第5図の場合に対応する V_t は同じ



第5図 Bシリーズの ρ_0 と I を固定した場合の hf , ML と, p_r と $V+V_t$ の関係——第4表の記号参照。

Fig. 5. The relations between p_r and $V+V_t$ concerning with hf and ML , in which ρ_0 and I were fixed, in B-series.—see the notations in Table 4.

In the cases of fixing ρ_0 , I and hf , $V+V_t$ had the inclination to increase in nearer ML to the full-density curve. In the cases of fixing ρ_0 , I and ML , $V+V_t$ tended to increase with later hf in farther ML from the full-density curve but with earlier hf in nearer ML to the full-density curve.

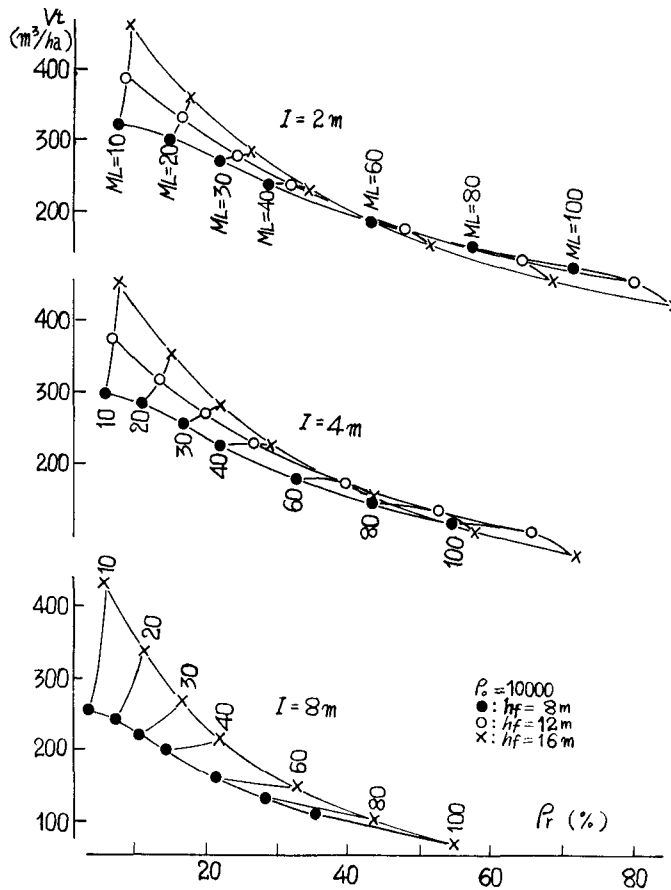
例を用いて第6図のようになる。まず同一 hf に関しては ML が小さいほど V_t は多くなっていることがわかる。また同一 ML 線上では, ML が小さい範囲では hf が大きい方が, ML が大きい範囲では hf が小さい方が V_t は多い。 $V+V_t$ の場合と同様 $ML=30\sim40\%$ がこの傾向の逆転する境界になっているようである。

つまりBシリーズの間伐量合計は, 次のような傾向をもっている。植栽本数が多いほど, 間伐のくり返しが多いほど, 管理曲線が特性曲線から離れるほど多くなる。さらに, ある限度より疎開して管理される場合は間伐の開始がおそいほど, 逆に密な状態で管理される場合は間伐は早く開始されるほど間伐量合計は多くなる傾向がある。こうした傾向は, 管理が特性曲線に近づいて行なわれるほど顕著でなくなるのは主間伐合計の場合と同様である。

3.3 Cシリーズ: Bシリーズは ρ_0 が決定されているため第1回の間伐で除去される本数は, ρ_0 に影響されるところが大きい。

そこで, モデルによって ρ_0 を変え, 第1回の間伐が行なわれるときに丁度 ML 線に到達したものと仮定してCシリーズとした。 ρ_0 の他はBシリーズと同様の設定である。

I を固定し, hf , ML と $V+V_t$ の関係を比較すると, 同一の hf では ML が大なるほど, また



第6図 Bシリーズの ρ_0 と I を固定した場合の hf , ML と, ρ_r と V_t の関係——第4表の記号参照。

Fig. 6. The relations between ρ_r and V_t concerning with hf and ML , in which ρ_0 and I were fixed, in B-series.—see the notations of Table 4.

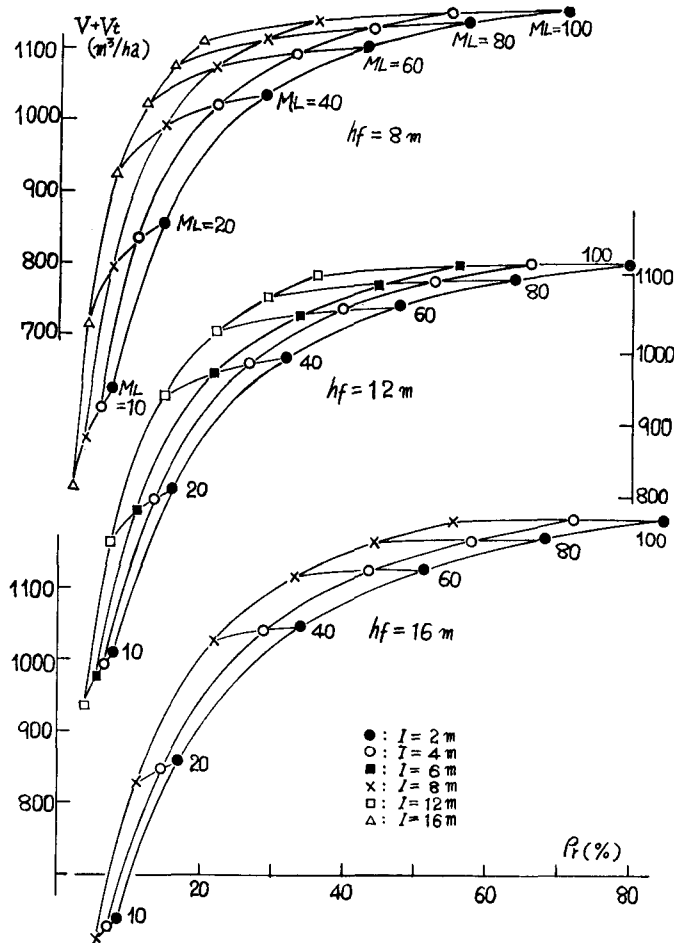
In the cases of fixing ρ_0 , I and hf , V_t had the inclination to decrease in nearer ML to the full-density curve. And in the cases of fixing ρ_0 , I and ML , V_t tended to increase with later hf in farther ML from the full-density curve but with earlier hf in nearer ML to the full-density curve.

同一の ML では hf が小なるほど $V+V_t$ は多くなる。また第7図に示したものは hf を固定して I , ML と $V+V_t$ の関係を ρ_r を変数と示したものであるが同一の I では ML が大なるほど、同一の ML では I が小なるほど、 $V+V_t$ は多くなる傾向がある。こうした傾向はBシリーズの場合と同様で、 ML が特性曲線に近づくほど著しくなくなる。

一般に ρ_r が大きくなるほど $V+V_t$ は多くなる傾向があり、 ρ_r が小さい方でこの傾向が著しく、 ρ_r が大きい範囲で傾向はあまり顕著ではなくなる。このような傾向が変る ρ_r はCシリーズでは $\rho_r = 30\%$ 付近である。

4. その検討

A, B, Cシリーズを通じて次のような一応の結論を下すことができよう。主伐時の幹材積現存量は、主伐時の立木密度が高いほど多くなる。間伐収穫幹材積合計量については植栽本数が多いほど、特性曲線から離れて管理されるほど、間伐のくり返しは多いほど、さらに $\rho_r = 20 \sim 30\%$ を限界として特性曲線より遠い方で管理される場合はおそくから間伐が開始される方が、近い方で管理される場合は早くから間伐される方が、それぞれ他の条件が一定ならば間伐幹材積合計は多くなる傾向がある。



第7図 Cシリーズの hf を固定した場合の I , ML と、 ρ_r と $V+V_t$ の関係——第4表の記号参照。
 Fig. 7. The relations between ρ_r and $V+V_t$ concerning with I and ML , in which hf were fixed, in C-series.—see the notations of Table 4.

In the cases of fixing hf , $V+V_t$ had the inclination to increase with higher density- ML and with shorter I . These inclinations were distinguished in farther ML from the full-density curve.

こうした傾向は $\rho_r < 20 \sim 30\%$ で著しい。

主間伐合計幹材積については、植栽本数が多いほど、特性曲線に近づけて管理されるほど、間伐のくり返しが多いほど、さらに間伐の開始はある限度 ($\rho_r = 20 \sim 30\%$) より疎開されて管理される場合はおそいほど、その限度より密な状態で管理される場合は早いほど、それぞれ他の条件が一定ならば主間伐合計量は多くなる傾向がある。こうした傾向は、 $\rho_r < 20 \sim 30\%$ で著しく、 $\rho_r > 20 \sim 30\%$ の範囲ではあまり顕著ではなく、 ρ_r が大きくなるほど主間伐合計量も大きくなる傾向はあるが、その傾向はわずかに認められる程度であり、極く巨視的にいえば $\rho_r > 20 \sim 30\%$ で管理されていれば、その主間伐合計量は、植栽密度や間伐の経路（間伐の開始や間隔、毎回の間伐度など）とはほとんど無関係にほぼ一定になるといえるようである。ただし植栽密度はもし無間伐で放置しておいた場合、すくなくとも主伐時には、特性曲線上にあるだけの植栽密度が必要である。たとえばここで検討したモデルでは、 $\rho_0 = 2000$ のものでは密度が 24m 主伐には疎にすぎて、特性曲線に至らなかった。

さて、いろいろな間伐モデルを検討する上に、 $\rho_r = 20 \sim 30\%$ というものが一つの問題点となる。四手井⁷⁶⁾はスギ林の平均樹高 (h) とその樹高における競争開始の立木密度 (n/ha) との間に次の関係式

を導いた。

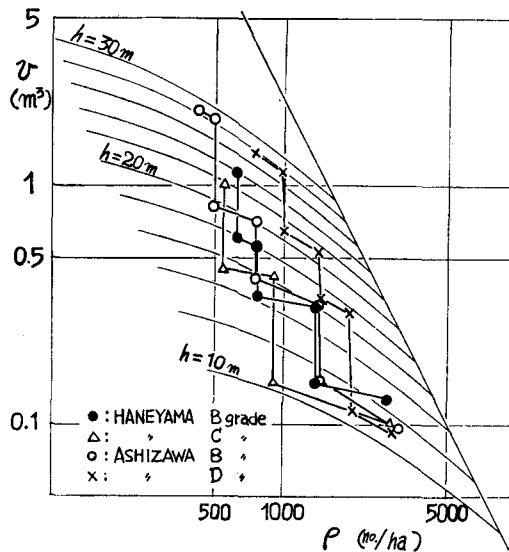
$$n = 73000 \times h^{-\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (8)$$

この式から、それぞれの h に対する n を計算して第3図上にプロットすると特性曲線とほぼ平行となり、 h が 6~30m の範囲では $\rho_r = 26 \sim 27\%$ の線となる。

したがって上述の $\rho_r = 20 \sim 30\%$ というものは、個体相互間の競争が開始される線と考えられる。一般に競争の開始は樹冠のふれあい、すなわち林冠の閉鎖を意味するから、 $\rho_r = 20 \sim 30\%$ は林分が丁度閉鎖する立木密度、したがって $\rho_r < 20 \sim 30\%$ は林冠の疎開、 $\rho_r > 20 \sim 30\%$ は林冠の閉鎖といえることができる。単位面積あたりの葉量は、閉鎖がすぐに回復すれば間伐の割合によってたいして影響をうけないから、 $\rho_r > 20 \sim 30\%$ では林分の単位面積あたりの葉量は一定であるといえよう。とすれば $\rho_r > 20 \sim 30\%$ では、立木密度にかかわらず単位面積あたりほぼ等しい生産量があるはずであり、 $\rho_r < 20 \sim 30\%$ にならない限り、主間伐合計量は間伐経路にかかわらずほぼ一定になるわけである。なお $\rho_r > 20 \sim 30\%$ で、 ρ_r が大きいほど主間伐合計量がやや大きくなる傾向があるのは、立木密度が高いほど同化生産物の幹への配分率が高くなる（第Ⅱ章3.2）ことなどによるものであろう。

したがって、このモデル計算によって得られた結果を簡結にいうならば、充分な植栽密度で、林分が閉鎖してから後にあまり極端に林冠層を疎開することなく間伐を行えば、その主間伐合計量は間伐の経路には無関係にほぼ一定になる。このような条件下では間伐度の強弱は、主間伐合計にはあまり大きな影響を及ぼさない、といえるのである。

以上のべたような間伐のモデル計算は、はたして現実の林分で有効であろうかということは当然問題である。秋田地方のスギ間伐試験地⁷⁰⁾の例を第8図に示したが、B種間伐でも、またC種間伐でもほぼ特性曲線に平行になるように管理されているようである。またB種でもC種でも、間伐前後の立木本数と平均幹材積は競争密度効果線にほぼ沿っているようで、蔽密に小個体から順に除かなくても通常の間伐では間伐前後の平均幹材積は競争密度効果線で検討できる可能性を示している。



第8図 秋田スギ間伐試験林⁷⁰⁾の $\rho \sim v$ 関係の推移。

Fig. 8. The management courses showed with relation between ρ and v in the thinning experimental stands⁷⁰⁾ of *Cryptomeria japonica* in AKITA district.

Stand densities seem to be controlled almost parallel to the full-density curve.

この他、河田らのアカマツ林の間伐経過²⁵⁾や、FOILES²⁰⁾の *Western white pine* 林、SPURR⁷⁸⁾らの *Eastern white pine* 林の間伐試験経過を検討すると、それぞれ特性曲線とほぼ平行に管理され、競争密度効果線によく適合した間伐経過となっているのは興味深いことで、現在まで行なわれてきた間伐は、経験的に本節のBシリーズに似た管理方法で行なわれてきたもののようである。

また現在林分の管理の基準とされている林分収穫表の、平均単木材積と立木密度との関係は、それぞれ樹種ごとに固有な特性曲線と両対数軸上ではほぼ平行な直線であらわされ、全国一般に本節のBシリーズのような管理曲線が求められていることを示している。

Aシリーズでは適当な間伐率を決めることがむずかしい。間伐率が高いと間伐のくり返しによって林分は極度に疎開されるおそれがあり、間伐率が低いと間伐をいくらくり返しても林分は特性曲線に近づいてしまうのである。とすると、間断年数を考えに入れた適当な間伐率とは、特性曲線と平行に管理されるような間伐率を指すこととなり、Bシリーズのモデルと本質的には差がなくなるわけである。

Cシリーズのような設定は、間伐の開始にはじまる本数管理予定が数量的に把握された上でのみ有効である。第1回の間伐によって期待しうる幹材積を考えて、それに見合う植栽本数を決めるということは、重要視されてもよいことである。すなわち、植栽本数はただ多くするというのではなく、第1回の間伐にその間伐木が利用径級に達しているような植栽本数を決めてやるのである。間伐の数量的な表示を望むならば、やはり植栽本数まで含めるべきであろう。

5. 間伐指針表の調製

上述の材積収穫計算方法を用いて、暫定的な間伐指針を試作してみた。

従来の収穫表のほとんどのものは、樹高・直径・立木密度・材積・断面積などを林令によって決めていた。それぞれ異った立地条件に成立する林分の諸量を林令によって定めることは不適当で、いくつか地位を区分しているが、地位そのものの概念もあいまいでその判定にも確実性がない。

樹種ごとに従来の収穫表^{64)~67)}を検討すると、立木密度と幹材積の関係における管理曲線に地位別、地域別にあまり大きな差はみられない。ただ管理曲線上のある点に達する年数に地位差、地域差がみられるのである。すなわち第2図のような関係図を用いて検討すれば、巨視的に樹種によって管理曲線は1本で、地位差地域差はある平均樹高に達する年令で示され得るといえるのである。

第7表 平均樹高変数暫定間伐指針

Table 7. The tentative thinning schedules respected the mean height as variable

平均 樹高 Mean height (m)	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>					ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>					アカマツ <i>Pinus densiflora</i>				
	残存本数 No. of reserved trees (no./ha)	幹材積 Stem volume (m³/ha)	林令 Stand age (years)			残存本数 No. of reserved trees (no./ha)	幹材積 Stem volume (m³/ha)	林令 Stand age (years)			残存本数 No. of reserved trees (no./ha)	幹材積 Stem volume (m³/ha)	林令 Stand age (years)		
			地	位	Site			地	位	Site			地	位	Site
I	II	III	I	II	III	I	II	III							
6	3905	110	10	12	15	3160	77	13	16	22	4655	75	11	13	17
8	2800	148	14	17	22	2150	132	18	23	31	2950	108	15	18	23
10	2135	205	18	22	30	1570	178	23	31	42	2030	146	19	23	30
12	1695	272	23	28	38	1205	230	29	40	55	1480	182	23	29	39
14	1390	339	28	35	49	955	293	36	50	70	1130	224	29	36	49
16	1165	411	33	42	60	780	347	43	60	89	885	261	35	44	61
18	995	484	39	50	73	650	416	51	72		715	311	41	53	75
20	865	565	45	59	88	550	487	60	86		590	357	48	63	91
22	760	653	52	69		475	558	70			490	404	56	74	
24	675	737	59	80		415	628	81			420	453	65	88	
26	605	826	67	92		365	699	93			360	504	75		
28	545	927	76			325	795				310	567	87		
30	495	1021	85			290	897				275	633			

そこで林令・地位を2次的に考えて、平均樹高を変数とした本数管理指針表を全国一本にしてスギ・ヒノキ・アカマツについて試作した(第7表)。林令は、ある平均樹高に達するに必要な年数という意味で付加的に示した。資料は林野庁収獲表調製資料^{84)~86)}の標準地データーを用いた。

表には間伐後の残存本数・材積が示されているが、管理曲線は特性曲線と平行とし、従来よりやや高密度よりに管理され、前述の *ML* で示すとスギ50%、ヒノキ・アカマツ60%の線である。平均樹高は2mゴトにあわし、間伐間隔は樹高生長2mゴトを想定している。次に全データーの林令と平均樹高の関係をプロットし、図上でその分散の巾を3等分してⅠ, Ⅱ, Ⅲの3級に分けそれぞれの級内で平均樹高に対する林令を求めた。指針表の林令の欄は一応の目安として示されているが、地域ごとに樹高と林令の関係が変るとすれば、この欄だけが書きあらためられればよい。

表には平均樹高の小さい間の管理曲線沿いの立木本数も記してあるが、林分が若い間からこの通りの管理を行なうというのではなく、植栽後ある程度まで無間伐で管理曲線に到達せしめればよい。間伐の開始はその間伐材が利用できる大きさに達した時と決めるのが適切で、丁度その時が管理曲線にくるように若干の枯死を考えに入れて植栽本数を決めるべきであろう。

すでに提示された坂口の樹高基準間伐指針と比較すると、筆者の指針表ではスギ・アカマツが高密度よりの、ヒノキはやや低密度よりの管理になっているようである。

IV. 今後の間伐に対する考察

1. 呼吸による消費についての説明

林分全体の生産と消費のバランスを考える上に、消費の中でもっとも大きな意味をもつものは呼吸量の問題であろう。第Ⅱ章ですでに述べたように、一般に樹木の呼吸量はその表面積に比例しているようである。同一蓄積であっても、立木密度³⁶⁾の低い大径木林と密度の高い小径木林では、後者の方が単位土地面積あたりの幹表面積は多いから、呼吸消費は小径木林で多くなるはずである。枝の量までを考えに入れてもおそらく同様であろう。また林分内の小個体ないしは劣勢木は林分の生産面よりも、消費面で関係する方が多いと考えられるから、林分内の劣勢木を除いて呼吸消費をおさえ、そのような個体を除いても林分としての生産がそれほど影響をうけない、というような林分としての生産を考える上での optimum な立木密度が決められると、生態学的意味における最高能率の間伐が実行できるはずである。すなわち消費者を極力少くして、生産力の高いもののみの集団とするわけで、林分としては最少必要限度の消費で最大生産をあげることになる。しかしながら呼吸に関してはフィールドでの研究が進んでいないので、この問題の解明は今後に残された大きな課題である。

2. 枝打ち併用の間伐

林分内の個体の材積出現頻度分布は、林分を放置しておけばL型分布³⁴⁾、すなわち低階級に属する個体数が多い型になる方向へと進むのが普通である。従来、間伐はL型分布を正規型にもどす効果があるようにいわれてきたが、直径や樹高で正規型にもどることはあっても、材積では正規型になりにくい。一旦個体間の優劣関係が決まると、この関係が逆転することはほとんど稀である⁸²⁾。つまり一度上層木、下層木の差ができると、上層木ではますます生長がさかんになり、下層のものが上層のものを追い抜くことができないのである。したがって上層木を除かない限り、平均的に個体の大きさのそろった林分は造成できない。一般に小個体ほど間伐によって除かれる率が多いから、一般的な間伐によって個体材積の均一化を期待するのは無理であろう。同じ林冠層にあって相互に優劣がなく干渉しあっているような個体間では、一方を除くことによって残された方の個体の生長がよくなることはあろうが、優劣があきらかに認められるような場合には劣者を除いても残された優者の生長がよくなることは考えられない。

つまり間伐では林分全体として平均的に個体の生長を促進させることはできても、各個体について生長を調節することはできないのである。

そこで各個体の生長を人為的にコントロールし、均等な個体の大きさのそろった林分に保育するために、優勢木の生長を一時抑制して劣勢木が同等の大きさに生長するのを待つ方法として優勢木に緑枝打ちをしてやるのが考えられる。すなわち優勢木の葉を一時的に減少せしめて、その個体の生長をおさえるとともに、その個体の下にあった劣勢木に光が与えられて生長が促進され、両者の個体量差がすくなくなってくるというような方法である。

枝打ちによって立木密度を減少させずに、葉の量を人為的に左右して、個体間の生長の配分を変えるわけであり、この方法によって林分内の個体量の出現頻度分布のL型化を防ぎ、正規型に保つことは比較的容易ではないかと思われる。

間伐は人為的に立木密度を減少せしめ、残存木の生長を平均的によくする方法といえるが、優勢個体ほど強い緑枝打ちを行なうのは、立木密度には変化を与えず優勢個体の生長を一時的に抑制して各個体への光や養分の配分を平均化してやる方法といえよう。

このように、間伐と緑枝打ちは個体間の競争緩和の手段という点では一致しているが、相異った効果をもっている。こうした効果はともども林分施業に必要なものであり、両者の併用による保育は効果的であろう。つまり間伐によって劣勢木や有害木を除き、上層の優勢木には緑枝打ちを行なうことによって、残存個体の下層のものも生長は促進され、上層木の生長はやや抑制されて全般的に個体の生長はよくなるが、とび離れて生長のよいものはなくなり、単木材積は均一化される傾向に動き、林分生長も悪くならず、またある程度の間伐収穫も期待しうる、というような林分の保育は可能であろう。

間伐は樹木集団の生活を人為的にコントロールするものであるから、自然の持つ生産能力をできるだけ希望の方向へ導くためには、林分あるいは個々の樹木の生産の機構を基礎的に把握し、植物生態学的な立場から論を進めるべきであろう。この意味で森林の物質生産機構の解明は今後の間伐の進め方にすくなく解決の根拠を与え、さらに間伐を量的数的に表現し、“名人でなくてもできる間伐”を生みだす基礎となるものと期待されるのである。

要 約

従来の間伐のほとんどは樹型級区分によって行なわれて来たが、樹型級区分による間伐では作業前に残存すべきあるいは間伐すべき材積が数的に表示できず、本数管理を系統的に量的に明示されない欠点がある。そこで量的数的に表示されるような間伐方法が最近いろいろ考えられてきた。

量的、数的な間伐を行なうためには林分やそれを構成する個体の一般的な生長の状態を知るとともに、林分の生産、消費を解析して林分の生産構造を明きらかにする必要がある。

一般にあまり極端に立地が違わなければ単位面積あたりの葉量は、林分が閉鎖していれば樹種別にはほぼ一定である。とすると葉の同化能率は樹種によってほぼ決まっているから単位面積あたりの総同化生産量は同一樹種でだいたい一定になる。林分の純生産量は葉による総同化生産量と、呼吸、枯死その他による消費との差で示されるが、haあたりの年間純生産量は針葉樹林で5~20ton、落葉広葉樹林で3~10tonと推定されている。

同化生産物の幹への配分は、立木密度によって影響をうけ、立木度が高いほどhaあたりの幹量は多く逆に枝はすくなくなる。しかしあまり立木密度が高いと幹は細長となり自然間引による枯損が

多くなる。

数樹種について立木密度に関する特性曲線（平均幹材積と立木密度の関係における林分が保持する最大密度曲線）を求め、さらにこれに競争密度効果線の代りに用いた等平均樹高線を組みあわせて、平均樹高を媒体として約450種類の間伐モデルを例をスギにとって想定し、その主間伐合計幹材積を計算によって求めて比較した。その結果、閉鎖が極端に破られないように林分が管理される限り、またその林分が放置されている状態で主伐時に特性曲線に至る程度以上の植栽本数があれば、主間伐合計幹材積は間伐の経路（間伐開始の遅速、間断年数の長短、植栽密度、主伐密度の多少など）にかかわらず、あまり大きな差を示さないことが明きらかとなった。

そしてこの計算に用いた諸因子を応用して、スギ、ヒノキ、アカマツに関する間伐指針表を平均樹高を変数として調製した。

林分の物質生産面から考えて、林分全体の呼吸という消費因子をできるだけおさえるために、同化生産にあまり関与せず呼吸損失の多い下層木を伐るという考え方で、物質生産に最も有利な立木密度が決まるはずで、これは今後の呼吸消費量の研究にまたねばならない。

また、幹材積の出現頻度や、個体間の順位変動などを検討した結果、間伐のみによって均一に大きさのそろった幹材生産を導くことが不可能であることがわかった。均一な大きさのそろった幹材を生産するためには、上層木ほど強い緑枝打を間伐と併用することが有効であろうと思われる。

文 献

1. ASSMANN, E.: Über Brauchbarkeit des Verfahrens von HART-BECKING zum Festlegen der Durchforstungsstärke. Forstw. Cbl. **79** (1960) H. 3/4 65-72.
2. AVERELL, J. L.: Rules of thumb for thinning loblolly pine. Jour. Forestry **43** (1945) 649-651.
3. BAKER, F. S.: Stand density and growth. Ibid. **51** (1953) 95-97.
4. BENSON, H. P.: Growth and specific gravity responses in a thinned red pine plantation. Ibid. **55** (1957) 510-512.
5. BICKFORD, C. A. *et al.*: Stocking, normality, and measurement of stand density. Ibid. **55** (1957) 99-104.
6. BOYSEN JENSEN, P.: Die Stoffproduktion der Pflanzen. Fischer, Jena. (1932)
7. BRAMBLE, W. C., H. N. COPE and H. H. CHISMAN: Influence of spacing on growth of red pine in plantation. Jour. Forestry **47** (1949) 724-732.
8. BURGER, H.: Holz, Blattmenge und Zuwachs. I. Die Weymouthsföhre. Mitteil. Schweiz. Centralanst. Forstl. Versuchsw. **15** (1929) 243-292.
9. —: Ditto II. Die Douglasie. Ibid. **19** (1935) 21-72.
10. —: Ditto III. Nadelmenge und Zuwachs bei Föhren und Fichten verschiedener Herkunft. Ibid. **20** (1937) 101-114.
11. —: Ditto IV. Ein 80 jähriger Buchenbestand. Ibid. **21** (1940) 307-348.
12. —: Ditto V. Fichten und Föhren verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten. Ibid. **22** (1941) 10-62.
13. —: Ditto VII. Die Lärche. Ibid. **24** (1945) 7-103.
14. —: Ditto VIII. Die Eiche. Ibid. **25** (1947) 211-279.
15. —: Ditto X. Die Buche. Ibid. **26** (1950) 419-468.
16. —: Ditto XI. Die Tanne. Ibid. **27** (1951) 247-286.
17. CHAPMAN, H. H.: Effect of thinning on yields of forest-grown longleaf and loblolly pines at Urania, La. Jour. Forestry **51** (1953) 16-26.
18. CHISMAN, H. H. and F. X. SCHUMACHER: On the tree-area ratio and certain of its applications. Ibid. **38** (1940) 311-317.
19. CLEMENTS, F. E., J. E. WEAVER and H. C. HANSON: Plant competition. Carnegie Institution of Washington. (1929)
20. FOLLES, M. W.: Effect of thinning a 55-year-old western white pine stand. Jour. Forestry **54** (1956) 130-132.

21. 藤井真一：ヒノキ林の遮断雨量に関する試験，日林誌 **41** (1959) 262-269.
22. GAINES, E. M.: A long leaf pine thinning study. Jour. Forestry **49** (1951) 790-792.
23. GAISER, R. N. and R. W. MERZ: Stand density as a factor in estimating white oak site index. Ibid. **49** (1951) 572-574.
24. HOZUMI, K., T. ASAHIRA and T. KIRA: Intraspecific competition among higher plants. VI. Effect of some growth factor on the process of competition. Jour. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. **D, 7**. (1956) 15-34.
25. 河田杰，金谷与十郎：アカマツ及カラマツ植栽の疎密が成林状態に及ぼす影響（終結報告），林試報，**41** (1949) 29-62.
26. KIMURA, M.: Primary production of the warm-temperate laurel forest in the southern part of Osumi Peninsula, Kyushu, Japan. Misc. Rep. Res. Inst. for Nat. Resources **52-53** (1960) 36-47.
27. 吉良詔夫：生態系の自然構造とその生産力，現代生物学講座 **5**，共立出版 (1958) 149-195.
28. ——— (編)：密度・競争・生産。みやま (1957) **8**. 13-24, **9**. 9-18, **11**・**12**. 34-45.
29. ——— (編)：植物生態学，生態学大系Ⅱ上，古今書院 (1960).
30. ———，穂積和夫，小川房人，上野善和：栽植密度問題の生態学的考察，園芸学研究集録 **6** (1953) 69-81.
31. KIRA, T., H. OGAWA, K. HOZUMI, H. KOYAMA and K. YODA: Intraspecific competition among higher plants. V. Supplementary notes on the C-D effect. Jour. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. **D, 7**. (1956) 1-14.
32. ———, ——— and N. SAKAZAKI: Ditto I. Competition-yield-density interrelationship in regularly dispersed populations. Ibid. **D, 4**. (1953) 1-16.
33. 北沢右三，木村允，手塚泰彦，倉沢秀夫，坂本充，吉野みどり：大隅半島南部の植物生態学的研究，資源研報 **49** (1959) 19-36.
34. KOYAMA, H. and T. KIRA: Intraspecific competition among higher plants. VIII. Frequency distribution of individual plant weight as affected by the interaction between plants. Jour. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. **D, 7**. (1956) 73-94.
35. KRAUCH, H.: Result of thinning experiment in ponderosa pine pole stand in Central Arizona. Jour. Forestry **47** (1949) 466-469.
36. LEXEN, B.: Bole area as an expression of growing stock. Ibid. **41** (1943) 883-885.
37. MANN, W. F. Jr.: Response of loblolly pine to thinning. Ibid. **50** (1952) 443-446.
38. 丸山岩三，佐藤正：林木および林分の葉量に関する研究（第1報）—岩手県地方のアカマツについて，林試報 **65** (1953) 1-10.
39. MILLER, W. D.: Thinning in old-field virginia pine. Jour. Forestry **49** (1951) 884-887.
40. MITCHELL, H. C.: Regulation of farm woodland by rule of thumb. Ibid. **41** (1943) 243-248.
41. MOLLER, C. M.: The effect of thinning, age and site on foliage, increment and loss of dry matter. Ibid. **45** (1947) 393-404.
42. MÖLLER, C. M., J. ABELL, T. JAGD and F. JUNCKER (compiled by S. O. HEIBERG): Thinning problems and practices in Denmark. Tech. Publ. N. Y. St. Coll. For. **76** (1954)
43. MÖLLER, C. M., D. MÜLLER and J. NIELSEN: Graphic representation of dry matter production of European beech. Forstl. Forsøgsv. Danmark **21** (1954) 327-335.
44. MONSI, M. und T. SAEKI: Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. Jour. Bot. **14** (1953) 22-52.
45. MULLOY, G. A.: Rules of thumb in thinning. Jour. Forestry **44** (1946) 735-737.
46. 大政正隆，森経一：落葉に関する二三の研究，帝室林野林試報 **3/3** (1937) 39-107.
47. OSHIMA, Y., M. KIMURA, H. IWAKI and S. KUROIWA: Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. I. Preliminary survey of the vegetation of Mt. Shimagare. Bot. Mag. **71** (1958) 289-301.
48. OVINGTON, J. D.: The form, weight and productivity of tree species grown in close stand. New Phytol. **55** (1956) 289-304.
49. ———: Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. Ann. Bot. N. S. **21** (1957) 287-314.
50. ——— and D. HEITKAMP: The accumulation of energy in forest plantation in Britain. Jour. Eco. **48** (1960) 639-646.
51. ——— and H. A. I. MADGWICK: The growth and composition of natural stand of Birch. I. Dry-matter production. Plant and Soil **10** (1958) 271-283.
52. ——— and W. H. PEARSALL: Production ecology. II. Estimation of average production by tree. Oikos **7** (1956) 202-205.
53. REINEKE, L. H.: Perceiving a stand-density index for even-aged forests. Jour. Agr. Res. **46** (1933)

- 622-638.
54. 林野庁（秋田営林局，名古屋営林局，林業試験場）：収穫表調製業務研究資料（スギ），4（1953），7（1953），11（1955），13（1955），14（1955），17（1956），20（1959），22（1960），23（1959）.
 55. —，（林業試験場）：同上（ヒノキ）3（1953），5（1953），6（1953），8（1955），9（1955），10（1955），18（1957）.
 56. —，（—）：同上（アカマツ）1（1952），2（1952），15（1956），16（1956），21（1959）.
 57. —，（—）：同上（カラマツ）12（1955），および帯広営林局：帯広営林局内カラマツ林分収獲予想表（1957）.
 58. RUDOLF, P. O.: Stand density and the development of young Jack pine. *Jour. Forestry* 49(1951) 254-255.
 59. 坂口勝美：間伐の考え方，山林 832（1953）104-114.
 60. —：間伐一特に定量的間伐への発展，育林学新説，朝倉書店（1955）164-189.
 61. —：間伐の本質に関する研究，林試報 131（1961）1-95.
 62. —，土井恭次，安藤貴：立木密度からみたアカマツ幼令林の生産構造，アカマツに関する研究論文集（1954）312-327.
 63. —，—，—，福田英比古：本数密度からみたアカマツ天然生幼令林の解析，林試報 93（1957）1-25.
 64. 佐藤大七郎：間伐と生長，山林 832（1953）115-122.
 65. —：林木の生長の物質的基礎，育林学新説，朝倉書店（1955）116-141.
 66. —，功力六郎，桑川昭夫：林分生長論資料 3，チョウセンヤマナランの再生林における葉の量と生長との関係，東大演報 52（1956）33-51.
 67. —，中村賢太郎，扇田正二：同上 1，立木密度のちがう若いアカマツ林，同上 48（1955）65-90.
 68. —，根岸賢一郎，扇田正二：同上 5，上層間伐を行なったケヤキ人工林における葉の量と生長量，同上 55（1959）101-123.
 69. —，扇田正二：同上 4，わかいヒノキの人工林における葉の量と生長量の関係，同上 54（1958）71-100.
 70. 佐藤弥太郎（編）：スギの研究，養賢堂（1955）257-283.
 71. SCHANTZ-HANSEN, T.: The cloquet red pine thinning plot. *Jour. Forestry* 50（1952）480-482.
 72. 扇田正二，中村賢太郎，高原未基，佐藤大七郎：林分の生産構造の研究（予報）—アカマツ植栽疎密試験地に於ける若干の解析，東大演報 43（1952）49-57.
 73. —，佐藤大七郎：林分生長論資料 2，いろいろなツヨサの間伐をした北海道のストロブマツ林，同上 52（1956）15-31.
 74. 芝本武夫：我が国森林土壌の生産力と造林用肥料に就いて，みどり 3/3（1951）9-16.
 75. 四手井綱英：植栽密度がスギ幼苗の育成に及ぼす影響について，第4回林試研究会記録（1952）43-49.
 76. —：林分密度の問題，林業解説シリーズ 86（1956）.
 77. SHINOZAKI, K. and T. KIRA: Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of the C-D effect. *Jour. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. D*, 7. (1956) 35-72.
 78. SPURR, S. H., L. J. YOUNG, B. V. BARNES and E. L. HUGHES: Nine successive thinning in a Michigan white pine plantation. *Jour. Forestry* 55（1957）7-13.
 79. STAHELIN, R.: Thinning even-aged loblolly and slash pine stand to specified density. *Ibid.* 47（1949）538-540.
 80. 只木良也，四手井綱英：林木の競争に関する研究Ⅱ，スギ苗で仕立てた模型林分での間伐試験，日林誌 41（1959）341-349.
 81. —，—：同上Ⅲ，アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験，同上 44（1962）129-139.
 82. —，—：同上Ⅳ，生長にともなう林分内の個体順位の変動，同上 44（1962）203-212.
 83. —，—：森林の生産構造に関する研究Ⅰ，アキニレ稚樹林における葉量の時期的変化とその乾物生産，同上 42（1960）427-434.
 84. —，—，酒瀬川武五郎，荻野和彦：同上Ⅱ，シラカンバ幼令林における現存量の推定と生産力についての若干の解析，同上 43（1961）19-26.
 85. 牛山六郎：胸径に基準をおく間伐法—牛山式間伐法，長野営林局報 21（1954）12-23.
 86. WAHLENBERG, W. G.: Thinning yellow-poplar in second growth upland hardwood stand. *Jour. Forestry* 50（1952）671-676.
 87. WILSON, F. G.: Control of growing stock in even-aged stand of conifers. *Ibid.* 49（1951）692-695.
 88. 四大学（北大，東大，京大，大阪市大）合同調査班：森林の生産力に関する研究Ⅰ，北海道主要針葉樹林について（1960）国策パルプ
 101. 白井一成：ヤチダモ林の生産構造の解析，京大林，学士論文 626（1960）
 102. 四大学（北大，東大，京大，大阪市大）合同調査班：森林の生産力に関する研究北海道のカンパ類の林について—未発表調査資料

Résumé

In the past, almost all of the thinnings used to be treated according to Crown-class or stem-class systems, but under these systems it was impossible to have systematic or quantitative informations on the number or volume of removed or reserved stems.

Then, the new thinning systems have been developed which can be expressed quantitatively or numerically.

To practice quantitative thinning, it is necessary not only to obtain general rules on growth of the stand and that of individual trees, but also to analyse the factors concerning with the production or consumption and to make clear the production structure of the stand.

The leaf-amount is closely connected with the growth of stand or of individual trees. The leaf-amount of the same species seems to keep the constant value per unit area regardless of the stand-age, the site quality (within its reasonable range), tree-size or stand density, if the crowns are well closed (Table 1). Supposing the assimilation-rate of leaf is almost constant in the same species, it may be possible to guess that the productions per unit area of the same species will have little variations among closed stands. However, it has to be noticed that the extraordinary changing of the soil conditions, such as by fertilization and ploughing, seems to result in a changed leaf-amount and assimilation-rate.

The net production of a stand can be formulated as the balance of the assimilated products by leaves and the consumption such as respiration, death of plants, leaf- and branch-fall etc.. The annual net productions of the dry matter have been estimated to amount to 5-20 ton per ha. in coniferous stands and 3-10 ton per ha in deciduous broad-leaved stands (Table 2).

The allotment of produced matter to the stem is affected by stand density. As the total amount of branches per unit area tends to decrease and that of stems tends to increase with higher density (Fig. 1), the high stand density may be profitable for the purpose of stem production. But when the stand density is higher, the number of dead trees caused by natural thinning increases and the mean stem volume becomes smaller. So, the optimum stand density must be determined on the point of which it is expected to produce as much stem volume as possible per unit area, single stems having the favorable average size.

The authors estimated the full-density curves and the equivalent-height curves in several species in relation to the stem volume and the stand density. These are very important for us to discuss the stem volume yield (Fig. 2 and Table 3).

Further, the authors tried to draw up a diagram of stem volume and stand density, using the case of *Cryptomeria japonica* as an example, combining the curves of full-density and of equivalent-height (Fig. 3). The latter curves were employed in place of the usual C-D curves (competition-density curves).^{32/77)} And using this diagram, or the rules of competition-density effect, total yields were calculated and compared with each other for numerous models of thinning, which were designed on various grades, intervals, beginning times of thinning and initial planting densities (Table 5).

The results obtained were as follows: (Fig. 4-7)
The yield in the final cutting increased with the higher final stand density. While the total

thinning yields showed the tendency to increase with the initial planting density, the relative density (the ratio of actual density to the full-density estimated by the same equivalent-height curve), and the frequency of thinning. The earlier the beginning of thinning, the more the total yields by thinning, above the 25 percent relative density, and the reverse, below 25 percent.

The total yield, i. e. the sum of final and intermediate yields, tended to increase similarly with higher initial planting density, with higher relative density, with shorter interval, and with earlier beginning of thinning over 25 percent level of the relative density or reverse for under 25 percent level. The above mentioned tendencies were very remarkable when the relative density was under 25 percent, but were far less remarkable when the relative density was over 25 percent. Therefore, it may be approximately stated the sum of stem yields keeps the constant value over 25 percent relative density, even if the factors, such as initial planting density, grade, interval and beginning of thinning were changed. The density, of which the relative value is 25 percent, seems to be one in which the crowns nearly come to their closure, so the statement may be allowed that the total yield of stems is little affected by various kinds of thinning management, if the crown closure of the stand is kept unbroken. However, the above mentioned relationship cannot be realized, when the initial planting density of the stand is not so high that, the stand cannot reach the stage of full-density even at its final cutting under unthinned conditions.

The tentative thinning schedules presented for *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Pinus densiflora*, which were calculated by the authors according to the relation between stem production and stand density described above. Here, the mean height of the stands is the single variable, the site and age being considered secondarily (Table 7).

Concerning the balance of the production and consumption in a stand, respiration is one of the most important fractions of the consumption. Then the optimum thinning grade must be found, in which the most efficient production is expected in the means of reducing the amount of consumption in respiration. The studies on the respiration in the stand and the applications of the results to the thinning problem are the important subjects left for the future.

The "L-shaped" distribution of stem volume in a stand could not be corrected with the thinning of removing suppressed or smaller individuals. But the green-pruning on dominant or larger individuals seems to be possible to correct the L-shaped distribution, so that it may be effective for obtaining uniform individual stem volume to practice the green-pruning on dominant individuals connecting with thinning.